



# Psychologie Ergonomique de l'Optimisation des Processus Décisionnels

Éric Raufaste

## ► To cite this version:

Éric Raufaste. Psychologie Ergonomique de l'Optimisation des Processus Décisionnels. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2003. tel-00316445

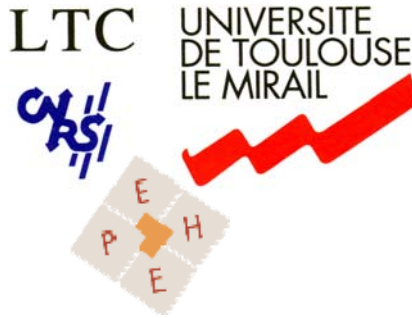
**HAL Id: tel-00316445**

**<https://theses.hal.science/tel-00316445>**

Submitted on 3 Sep 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Laboratoire Travail et Cognition  
UMR 5551 du CNRS – UTM – EPHE  
Maison de la Recherche  
5, Allées A. Machado – 31058 Toulouse Cedex

# Psychologie Ergonomique de l'Optimisation des Processus Décisionnels

par  
Eric Raufaste

Thèse soutenue le 10 décembre 2003  
en vue de l'habilitation à diriger des recherches

devant le jury composé de

- B. CADET, Professeur, Université de Caen (rapporteur)
- G. DENHIÈRE, Directeur de Recherche, Université de Provence (rapporteur)
- C. MARINÉ, Professeur, Université de Toulouse-II
- E. MULLET, Directeur d'Études à l'École Pratique des Hautes Études
- H. PRADE, Directeur de Recherche, Université de Toulouse III
- P. SORUM, Professeur, Albany Medical College (USA)

**Université Toulouse le Mirail**  
U.F.R. de Psychologie



## REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier tous ceux sans qui ces recherches n'auraient pu avoir lieu, ou n'auraient pas dépasser le stade de simples cogitations stériles...

Il y a eu celles et ceux qui m'ont formé à la recherche, Hélène Eyrolle en maîtrise, Claudette Mariné en thèse, et enfin Etienne Mullet qui a été mon mentor pour l'habilitation.

Celles et ceux qui ont apporté des idées, des savoir et des savoir-faire, Jean-François Bonnefon, Dan Bothell, Rui Da Silva Neves, Didier Dubois, Melissa Finucane, Denis Hilton, Jean-Michel Hoc, Sandra Lê, Jérôme Lang, Christian Lebiere, Dominique Longin, Ellen Peters, Henri Prade, Paul Slovic, Paul Sorum, pour ne citer que ceux dont la contribution a été la plus directe.

Je tiens à remercier aussi les étudiants qui ont accepté de s'embarquer dans mes projets et de joindre leurs forces à cet effort. Je ne peux les citer tous ici mais Magali Cariou et surtout Laetitia Marquié ont fourni les contributions les plus efficaces.

Et puis il y a eu les directeurs successifs du Laboratoire Travail et Cognition, Yvon Quéinnec puis Jean-Marie Cellier qui m'ont donné les moyens matériels d'embarquer vers un nouveau monde... au propre comme au figuré.

Je ne peux terminer ces remerciements sans parler de ceux qui m'ont aidé à me construire non pas en tant que chercheur, mais en tant qu'homme : mes parents bien sûr, mais aussi Danièle qui sait tout ce que je lui dois.

Enfin je n'aurais rien pu faire si Sophie ne dispensait continuellement à Jeanne et à Thom l'amour et la présence que ces recherches leur volent...

Toulouse, le 14 octobre 2003

<b>SOMMAIRE</b>
-----------------

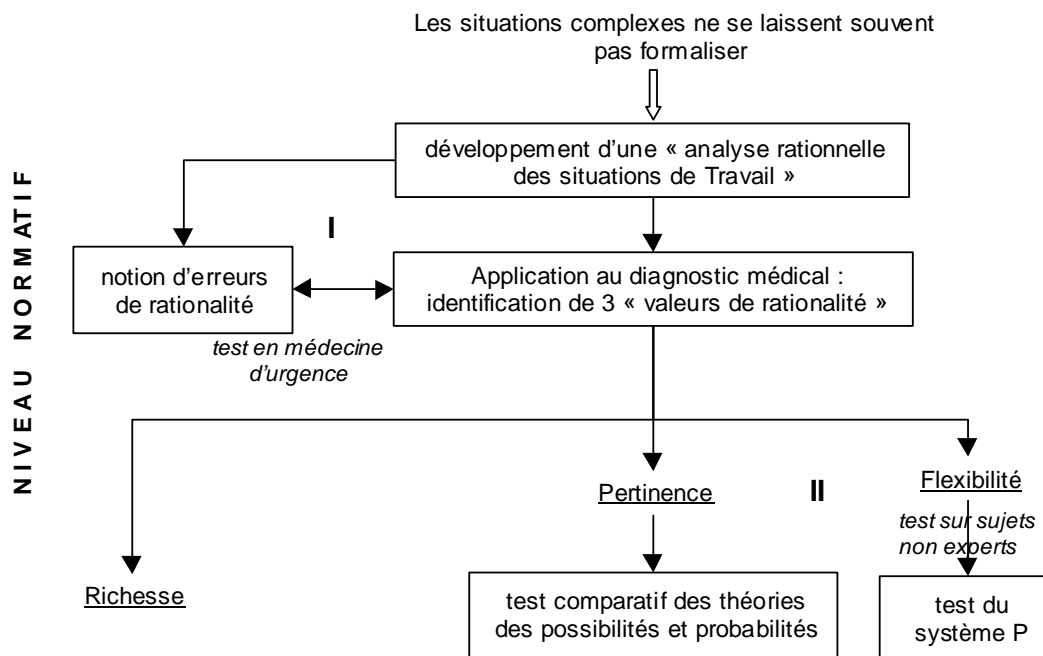
<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUME .....</b>	<b>1</b>
<b><u>1<sup>ERE</sup> PARTIE BILAN DES TRAVAUX REALISES .....</u></b>	<b><u>3</u></b>
 <b>CHAPITRE I : VALEURS DE RATIONALITE.....</b>	<b>4</b>
I. L'ANALYSE RATIONNELLE DES SITUATIONS DE TRAVAIL.....	4
II. ÉTUDE DE L'ERREUR EN MEDECINE D'URGENCE .....	6
III. CONCLUSION SUR LE CADRE GENERAL.....	10
 <b>CHAPITRE II : APPROCHE NORMATIVE DES VALEURS DE PERTINENCE ET FLEXIBILITE..</b>	<b>12</b>
I. APPROCHES NORMATIVES DE L'INCERTITUDE .....	12
II. PREMIER TEST DE LA THEORIE DES POSSIBILITES .....	16
III. UNE NOUVELLE MESURE D'INCERTITUDE : L'ECHELLE- $\Psi$ .....	17
IV. TESTS UTILISANT L'ECHELLE- $\Psi$ .....	18
V. APPROCHE NORMATIVE DE LA FLEXIBILITE.....	25
VI. DISCUSSION SUR L'APPROCHE NORMATIVE DES VALEURS DE RATIONALITE.....	29
 <b>CHAPITRE III : OPTIMISATION DE LA RICHESSE .....</b>	<b>30</b>
I. MODELISATION DE LA RICHESSE .....	30
II. TEST EMPIRIQUE DU MODELE DE RICHESSE .....	35
 <b>CHAPITRE IV : OPTIMISATION DE LA PERTINENCE (PARTIE 1 : APPROCHE EN RESEAUX)</b>	<b>38</b>
I. PROCESSUS DE DETECTION DES ELEMENTS PERTINENTS .....	38
II. COMMENT NOTRE MODELE EXPLIQUE LA PERTINENCE .....	42
III. DONNEES EXPERIMENTALES .....	43
IV. CONCLUSION SUR L'INCERTITUDE ET LA PERTINENCE .....	45
 <b>CHAPITRE V : OPTIMISATION DE LA PERTINENCE (PARTIE 2 : APPROCHE PAR L'AFFECT)</b>	<b>46</b>
I. LE PROBLEME DE LA DIMENSIONALITE DE LA VALENCE .....	46
II. UNE PREMIERE PISTE : LA BIPOLARITE DYNAMIQUE .....	47
III. STRUCTURE DE L'AFFECT DISPOSITIONNEL.....	50
IV. UNE NOUVELLE APROCHE : LA PROJECTION ETHIQUE .....	56
V. CONCLUSION SUR LA VALEUR DE PERTINENCE .....	62
 <b>CHAPITRE VI : OPTIMISATION DE LA FLEXIBILITE.....</b>	<b>64</b>

I. EXPERTISE ET LA FLEXIBILITE COGNITIVE .....	64
II. EXTENSION DU MODELE A LA FLEXIBILITE COGNITIVE .....	69
III. AJUSTEMENT DES DONNEES A LA REPRESENTATION : JUGEMENTS DE DOULEUR EN MEDECINE D'URGENCE.....	76
IV. CONCLUSION SUR LA VALEUR FLEXIBILITE .....	81
<b><u>2<sup>EME</sup> PARTIE PROJET DE RECHERCHE.....</u></b>	<b>82</b>
<b>CHAPITRE VII : PROJETS D'INVESTIGATIONS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>83</b>
I. VALEURS DE RATIONALITE ET OPTIMISATION .....	83
II. PLAUSIBILITE PSYCHOLOGIQUE DES MODELES NORMATIFS .....	83
III. INVESTIGATIONS DE LA PERTINENCE .....	86
IV. INVESTIGATIONS DE LA FLEXIBILITE.....	90
<b>CHAPITRE VIII : PROJET D'IMPLEMENTATION .....</b>	<b>91</b>
I. CHOIX D'UNE METHODE D'IMPLEMENTATION .....	91
II. TRAITEMENT DE LA PERTINENCE DANS LE LANGAGE.....	95
III. HEURISTIQUES DE JUGEMENT ET DE DECISION .....	100
IV. ROLE DE L'AFFECT DANS LA PERTINENCE.....	101
<b>CHAPITRE X : PROJETS DE RECHERCHE APPLIQUEE .....</b>	<b>103</b>
I. APPLICATION A LA MEDECINE .....	103
II. THEORIE DES ENSEMBLES FLOUS ET MESURE DE LA CHARGE MENTALE SUBJECTIVE.....	104
<b>REFERENCES .....</b>	<b>106</b>

## RESUME

L'expression « psychologie ergonomique » affirme « un ancrage dans la psychologie et ses différentes branches, sans exclusive : psychologie cognitive, psychologie sociale, psychologie des émotions, etc. » (Grosjean, Raufaste, Giboin, 2003, p. 194). Pour aborder la question de la modélisation des processus qui permettent à un individu d'adapter sa performance aux exigences de son environnement, nous convoquerons aussi les connaissances de diverses sciences cognitives, de l'intelligence artificielle aux neurosciences, en passant par la linguistique.

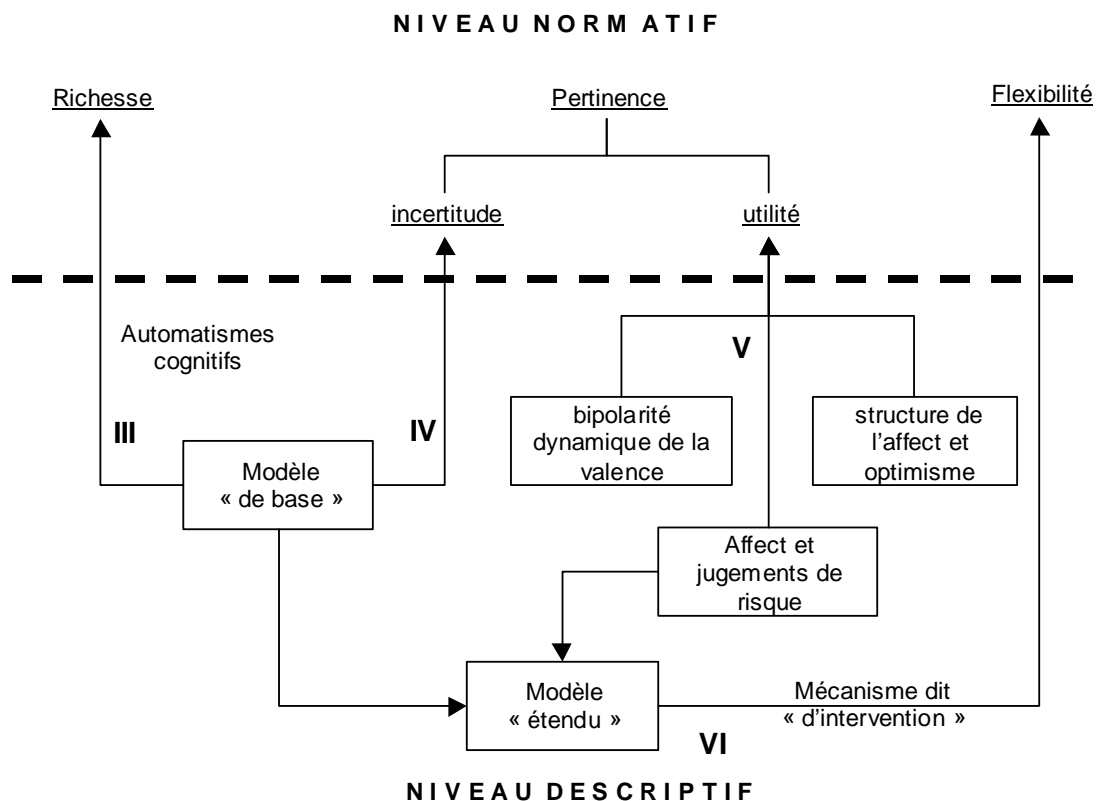
Le chapitre I présente la méthode que nous avons développée, « *l'Analyse Rationnelle des Situations de Travail* ». Les *valeurs de rationalité* y sont définies comme les dimensions de l'activité cognitive sur lesquelles opère l'optimisation. Une exploration empirique en médecine d'urgence est rapportée, au regard notamment des valeurs de *richesse*, *pertinence* et *flexibilité*. Le chapitre II aborde la question du choix des cadres normatifs utilisables pour la pertinence et la flexibilité. Pour la pertinence, des expériences montrent, dans le diagnostic radiologique, la meilleure plausibilité psychologique de la théorie des possibilités comparée à la théorie des probabilités. Pour la flexibilité, nous présentons le tout premier test d'une axiomatisation du raisonnement non monotone, le système P. La Figure 1 résume ces travaux.



**Figure 1 : Bilan au niveau normatif** (les chiffres romains sont les n° de chapitre)

Au niveau descriptif, nos travaux visent à comprendre les processus qui gèrent les

valeurs de rationalité. Les chapitres III à VI présentent le développement d'un modèle théorique global des processus qui gèrent les valeurs de richesse (chapitre III), pertinence (chapitres IV et V), et flexibilité (chapitres VI), respectivement. Des expériences menées auprès de radiologues et de médecins urgentistes sont présentées. Les chapitres III et IV sont basés sur les mécanismes associationnistes de notre modèle théorique initial. Le chapitre IV présente des investigations en vue d'intégrer un module affectif dans notre modèle théorique. Trois modèles structuraux y soutiennent la plausibilité de l'heuristique d'affect dans le jugement et la décision. Le chapitre VI constitue une extension de notre modèle théorique général en vue de le rendre capable de rendre compte de la flexibilité. Bien que la flexibilité soit généralement conçue comme l'adaptation de la représentation aux données externes, nous fournissons à la fin de ce chapitre des données sur une autre forme de flexibilité : l'ajustement des données à la représentation.



**Figure 2 : Bilan au niveau descriptif** (les chiffres romains sont les n° de chapitre)

La partie projet du document commence par un examen critique des travaux présentés dans la partie bilan. La substance du projet est ensuite exposée en trois chapitres. Le premier traite des investigations expérimentales que nous projetons de réaliser. Le deuxième présente nos projets de simulations informatiques. Le troisième et dernier volet est consacré à l'exposé de recherches plus orientées vers la recherche appliquée.



# 1<sup>ère</sup> Partie

## Bilan des travaux réalisés

## CHAPITRE I : VALEURS DE RATIONALITE<sup>1</sup>

Ce premier chapitre rappelle brièvement quelques éléments de la méthode d'investigation des processus d'optimisation des situations de travail que nous avons développée : l'analyse rationnelle des situations de travail (Raufaste, 2001). Nous appliquons ensuite cette méthode à la situation de médecine d'urgence.

### I. L'ANALYSE RATIONNELLE DES SITUATIONS DE TRAVAIL

#### I.1 Notion de valeur de rationalité

Nous avons proposé une méthode (Raufaste, 2001), l'Analyse Rationnelle des Situations de Travail (AR-ST) qui adapte aux situations de travail l'analyse rationnelle de l'activité mentale (Anderson, 1990). L'AR-ST vise la compréhension de l'optimisation de la performance par l'articulation d'une identification des exigences cognitives de la tâche étudiée et des caractéristiques de la conduite experte satisfaisant ces exigences. Elle s'appuie sur le repérage de dimensions de l'activité cognitive selon lesquelles s'opère l'optimisation plutôt que sur une modélisation formelle de l'environnement et de la tâche, souvent impossible en situation de travail. Ces dimensions sont nommées « **valeurs de rationalité** » car elles intègrent l'utilité sociale de l'activité cognitive. En résumé, voici la méthode que nous proposons pour une analyse rationnelle des situations de travail :

1. Détermination de l'ensemble des buts individuels et collectifs de l'activité, dans la situation considérée.
2. Détermination des contraintes structurelles de la tâche, en fonction de l'environnement matériel et social.
3. Choix de postulats minimaux compte tenu des limitations intrinsèques du système cognitif des opérateurs. Pour l'analyse des situations de travail, la tâche est généralement plus complexe que les tâches de laboratoire habituellement analysées dans l'analyse rationnelle. On peut cependant s'appuyer sur les résultats établis dans la littérature en psychologie.
4. Détermination d'un jeu de valeurs pertinentes pour la tâche à analyser. L'amélioration de la performance consiste à optimiser le comportement sur l'ensemble de ces valeurs.
5. Test par examen de la littérature et par analyse de la capacité des valeurs à rendre compte des différences entre novices et experts du domaine.
6. Itération du processus jusqu'à réduction des écarts constatés entre la réalité et les prédictions du modèle.

---

<sup>1</sup> Ce chapitre reprend de larges extraits de notre ouvrage (Raufaste, E. (2001)., et d'un article (Marquié, Raufaste, Mariné, & Ecoiffier (sous presse).

## **I.2 Application au diagnostic médical**

L'application de l'AR-ST au cas du diagnostic médical nous a conduit à définir un cadre théorique d'optimisation du diagnostic articulant principalement trois valeurs de rationalité : « richesse », « pertinence » et « flexibilité ».

La valeur « richesse » représente la diversité qualitative et quantitative des connaissances mises en œuvre par le sujet expert (Caillot, 1984; Glaser, 1985; Reason, 1993; Zeitz, 1994). Face à l'extrême complexité de son environnement, le médecin doit posséder un répertoire de conduites dont la richesse est en rapport avec cette complexité. La richesse est mobilisée dans toutes les phases du diagnostic, puisque chacune de ces phases requiert des connaissances adaptées. Par exemple, pour le recueil des données et pour la génération des hypothèses, le médecin doit disposer de connaissances en lien avec les maladies susceptibles de déclencher les symptômes.

La valeur « pertinence » est imposée par la limitation des ressources cognitives : Face à la richesse des connaissances et informations disponibles, il est nécessaire de limiter le traitement aux seuls éléments (faits, hypothèses et procédures) pertinents. Plusieurs études montrent que les experts intègrent une proportion plus forte d'informations pertinentes dans leurs représentations (Lesgold et al., 1981, 1988; Patel et al., 1990; Raufaste, Eyrolle & Mariné, 1998).

La valeur « flexibilité » renvoie à la mise en question de la représentation initialement élaborée par les mécanismes produisant la richesse et la pertinence. Elle est rendue nécessaire lorsqu'un cas est trop atypique pour que les automatismes à la base de la richesse et de la pertinence soient suffisants. Elle suppose une inhibition de la représentation.

Les valeurs de rationalité ne doivent pas être considérées séparément, mais en interaction. En particulier, un antagonisme entre richesse et pertinence semble inévitable. Si le médecin envisageait toutes les hypothèses possibles (priviliégiant la richesse) cela se ferait au détriment de la pertinence, puisqu'il sélectionnerait des hypothèses sans importance (à la fois très peu probables et sans conséquence). De ce fait, généralement, plus on augmente la richesse, plus on diminue la pertinence. Prédire la nature des interactions entre richesse et flexibilité est moins clair. En effet, augmenter la flexibilité requiert dans un premier temps d'inhiber une interprétation déjà active en mémoire de travail (antagonisme richesse - flexibilité). Mais, secondairement, cette inhibition ouvre le champ à d'autres interprétations et à d'autres prises d'informations. La relation entre richesse et flexibilité ne se prête pas à des prévisions simples. L'antagonisme initial entre richesse et flexibilité pouvant être compensé par un enrichissement ultérieur, la relation entre ces deux valeurs est difficilement prévisible. Il en va de même pour la relation entre flexibilité et pertinence.

## **I.3 Notion d'erreur de rationalité**

Il existe aujourd'hui un relatif consensus sur la définition de l'erreur (Amalberti,

1996; de Keyser, 1993; Hollnagel, 1993; Leplat, 1985; Norman, 1981; Reason, 1993; Woods, 1988). L'erreur est un écart par rapport à une norme, alors qu'il existe des degrés de liberté (i.e., des possibilités d'agir différemment), et une intention préalable d'approcher cette norme. Se pose donc la question de la norme à laquelle se rapporte l'erreur : s'agit-il d'une norme par rapport à une utilité espérée, d'une norme thérapeutique, ... ? Nous appellerons « **erreur de rationalité** » le manque d'optimisation relativement à une valeur de rationalité. Il y a donc un type d'erreur de rationalité par valeur (e.g., erreur de richesse, de pertinence, etc.).

Nous allons maintenant présenter une investigation empirique de notre approche.

## II. ÉTUDE DE L'ERREUR EN MEDECINE D'URGENCE

Pour cette étude, nous avons défini trois niveaux d'analyse de l'erreur : le niveau situationnel, le niveau logique et le niveau performatif. Le "niveau situationnel" fait référence aux facteurs situationnels qui favorisent l'erreur (longue durée de travail, contexte d'affluence, etc.). Il ne sera pas traité ici. Le « niveau de la logique de la tâche » fait référence à l'étape du raisonnement dans laquelle survient l'erreur, selon la séquence d'étapes énoncée par Hoc (1996) : recueil des données, génération des hypothèses, commande des examens, interprétation des résultats, diagnostic et décision. Pour coder le décours temporel de l'activité, les six étapes de Hoc (1996) ont été agrégées en trois blocs, *le début* (recueil des données et génération des hypothèses), *le milieu* (commande des examens et interprétation des résultats), et *la fin* (diagnostic et décision). Le « niveau performatif », enfin, repose sur le repérage de valeurs de rationalité. Nous nous attendions à ce que les erreurs commises soient liées aux processus cognitifs sous-jacents à la maximisation de la performance, d'où une classification des erreurs qui correspond à la classification en valeurs de rationalité.

### II.1 Valeurs et erreurs de rationalité en médecine d'urgence

La présente étude s'appuie sur trois valeurs de rationalité adaptées au cas général du diagnostic (Raufaste, 2001), à partir desquelles nous définirons trois types d'erreurs. « **L'erreur de richesse** » est un défaut de prise en compte des informations disponibles et/ou de mobilisation de connaissances nécessaires et disponibles (compte tenu de l'état de l'art). Par exemple, le médecin fait une erreur de richesse quand il n'examine pas suffisamment le patient. « **L'erreur de pertinence** » est une sélection inappropriée, compte tenu du contexte, de faits ou d'hypothèses. Par exemple, quand le médecin commande un test qui n'a pas de valeur diagnostique par rapport aux hypothèses qu'il veut tester, il fait une erreur de pertinence. Remarquons qu'une représentation ne peut pas être « trop riche ». Par contre elle peut contenir des informations inutiles, ce qui renvoie à un problème de pertinence et non de richesse. « **L'erreur de flexibilité** » est l'insuffisance, en présence d'incohérences dans la représentation, de transformation de cette représentation : malgré la présence d'incohérences, le sujet n'a pas ou a insuffisamment mobilisé ses ressources cogni-

tives pour remettre en cause le cadre interprétatif issu des automatismes. Par exemple, le médecin qui ne remet pas en cause l'hypothèse diagnostique générée au départ, alors que certains faits ou examens réalisés sont dissonants par rapport à cette hypothèse, commet une erreur de flexibilité.

L'analyse de l'activité du médecin urgentiste ainsi qu'une littérature abondante dans le domaine des situations dynamiques (Amalberti, 1996; Cellier et al., 1996; 1997, Hoc, 1996) et de la coopération au travail (Barthe & Quéinnec, 1999 ; Navarro, 1991 ; Rogalski, 1994) justifient d'ajouter ici deux nouvelles valeurs de rationalité, que nous appellerons respectivement « synchronisation » et « coopération ». La « synchronisation » traduit l'optimisation de la gestion du caractère dynamique de la situation. La coordination traduit l'optimisation de la gestion des aspects interpersonnels entre les différents opérateurs (médecins, infirmières, ...). Ces deux nouvelles valeurs de rationalité permettent de définir deux types d'erreurs. « L'erreur de synchronisation » est une insuffisance de richesse, de pertinence ou de flexibilité qui n'aurait pas été considérée comme erreur sans le caractère dynamique de la situation. Par exemple, le médecin commande un examen dont les résultats seraient adéquats à un moment  $t$ , mais qui seront devenus inutiles au moment où ils seront effectivement disponibles. Sans la dynamique de la situation, il n'y aurait pas eu d'erreur. « L'erreur de coordination » est une insuffisance de richesse, de pertinence, ou de flexibilité, qui n'aurait pas été considérée comme erreur sans l'aspect interpersonnel de la situation. Elle apparaît quand le système a échoué dans la gestion des aspects interpersonnels que nécessitait la situation (par exemple, lorsque s'est produite une mauvaise transmission d'informations entre deux médecins).

## II.2 Hypothèses

Une hypothèse minimale est l'occurrence effective des cinq types d'erreurs que nous avons définis.

Dans Raufaste (2001), nous avons postulé l'existence d'interactions entre les différentes valeurs de rationalité, et en particulier l'existence d'un antagonisme entre la pertinence et la richesse : plus on prend en compte de données (réduisant le risque d'erreur de richesse), plus on risque de traiter des données non pertinentes. On s'attendait donc ici à ce que l'optimisation de l'activité mentale dans le sens de la richesse (moins d'erreurs de richesse) dégrade l'optimisation au niveau de la pertinence (plus d'erreurs de pertinence). Une corrélation négative était donc attendue entre le nombre d'erreurs de richesse et le nombre d'erreurs de pertinence. Nous cherchions aussi des relations entre le type d'erreurs et le moment où interviennent les erreurs, et des relations entre le type d'erreurs et la profondeur du traitement.

## II.3 METHODE

*Matériel.* Il était constitué de 33 dossiers complets d'erreurs considérées a priori comme suffisamment graves pour avoir été enregistrées et archivées dans le service médico-chirurgical

du service des urgences. Ces dossiers correspondaient à des patients entrés au service des urgences au cours des 48 mois précédant l'étude. Sur les 33 dossiers, nous en avons éliminé 3. Le premier comportait une erreur récupérée, ce qui sort du champ de la présente étude. Dans les deux autres cas, il n'y avait pas eu de défaut dans le jugement du médecin, au moment des faits et compte tenu du contexte. Une analyse comparative entre les caractéristiques de nos dossiers (âge du patient, motif d'entrée, pathologies, ...) et celles de l'ensemble des dossiers de patients entrés au service des admissions médicales, a montré que les dossiers d'erreurs sont représentatifs de la population parente. Notamment, toutes les pathologies issues de notre échantillon appartenaient aux pathologies les plus fréquemment rencontrées au service des urgences. Les erreurs ne portaient pas sur des maladies rares. Les dossiers ont été répertoriés à différentes occasions : détection interne par les experts au cours de vérifications après la sortie du patient ( $N = 9$ ); détection et signalement a posteriori par d'autres services de l'hôpital ou d'autres hôpitaux ( $N = 12$ ); dépôt de plaintes ou réclamations de la part des familles suite à des erreurs détectées par d'autres médecins ( $N = 9$ ). Les dossiers ont été colligés par le chef du service médico-chirurgical des urgences, juste après les faits. Chaque dossier incluait différents types de fiches : orientation du patient, relevé des constantes, observations et transmissions, prescriptions médicales, prescriptions d'examen et comptes rendus de ces examens. Aucune des erreurs retenues ne trouvait de cause directe et immédiate dans des facteurs contextuels.

**Analyse.** La nature des erreurs et leur localisation dans le processus de diagnostic ont été déterminées selon la méthode des juges, par délibérations entre Claudette Mariné, Laetitia Marquié et nous-même. Pour un même dossier, ont été comptées autant d'erreurs de richesse que d'informations nécessaires au traitement du cas ont été omises. Les erreurs ont simplement été comptées selon les différentes catégories étudiées

## II.4 PRINCIPAUX RESULTATS

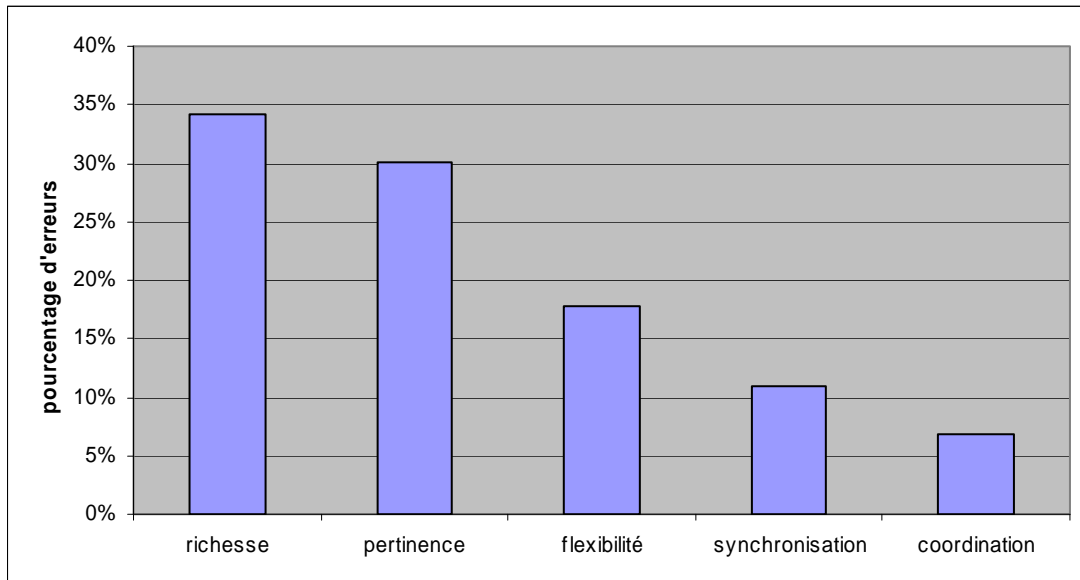
### Résultats quantitatifs

Les cinq types d'erreurs attendus ont été observés. Sur 73 erreurs répertoriées dans les différentes étapes du diagnostic des 30 dossiers analysés, les erreurs étaient distribuées de façon normale avec 2.4 erreurs par dossier en moyenne ( $SD = 0.86$ ; asymétrie = 0.51; Kurtosis = -0.24). Les cinq types d'erreurs n'étaient pas représentés de manière identique (Figure I.1),  $\chi^2(4, N = 73) = 20.63$  ;  $p < .001$ .

Comme prévu, nous avons trouvé une corrélation inverse entre le nombre d'erreurs de richesse et de pertinence,  $\rho_{(29)} = -0.40$ ,  $p = .014$  en unilatéral. Si de plus on éliminait du calcul les dossiers ne présentant ni erreur de richesse, ni erreur de pertinence (ceux-ci n'étant pas positivement concernés par l'hypothèse), la corrélation était encore meilleure,  $\rho_{(27)} = -.57$ ,  $p = .001$  en unilatéral. Ainsi, plus le nombre d'erreurs de richesse commises par le médecin était important, plus le nombre d'erreurs de pertinence était faible. Il y avait aussi une corrélation inverse entre les nombres d'erreurs de pertinence et de flexibilité,  $\rho_{(29)} = -0.44$ ,  $p = .016$  : plus le nombre d'erreurs de flexibilité était important, plus le nombre d'erreurs de pertinence était faible.

Les différents types d'erreurs se sont répartis de manière différente selon la chronologie de la tâche,  $\chi^2(4, N = 60) = 18.22$  ;  $p = .001$ , et selon la profondeur du traitement,  $\chi^2(4, N = 60) = 29.15$  ;  $p < .001$ . (i) 56% des erreurs de richesse étaient concentrées au début et milieu de l'étape diagnostique (plus précisément de l'étape du

recueil des données jusqu'à la génération des hypothèses); (ii) les erreurs de pertinence étaient concentrées aux niveaux du recueil des données et de l'interprétation des résultats (soit 54.54 %); (iii) les erreurs de flexibilité étaient massivement représentées au niveau de l'interprétation des résultats (soit 76,9%).



**Figure I.1 : Erreurs non récupérées en fonction des valeurs de rationalité**

### Résultats qualitatifs

Nous présentons ici quelques facteurs qui nous ont paru plus particulièrement associés aux erreurs de rationalité.

Dans la plupart des dossiers, les erreurs de richesse constatées n'étaient pas dues à un défaut de connaissance. La plupart des maladies rencontrées aux services des Urgences sont connues des médecins. Souvent les erreurs de richesse relevaient d'un défaut de prise en compte des informations disponibles. En effet, dans 14 dossiers nous avons pu relever des erreurs causées par la recherche d'un nombre insuffisant d'informations au cours du recueil des données.

Au plan des erreurs de pertinence, l'analyse a fait apparaître dans sept dossiers une confiance excessive accordée à la fiabilité de résultats d'examens. En effet, l'absence de résultat positif à un examen amène parfois le médecin à conclure faussement à l'absence de la maladie. Or, un examen non concluant peut bien sûr signifier l'absence de la maladie recherchée, mais il peut également indiquer un problème de fiabilité de l'instrument, un problème lié au moment d'application de l'instrument (le signe recherché n'est pas encore perceptible étant donné l'évolution de la maladie), ou enfin un problème de détection du signe recherché par celui qui interprète le résultat de l'examen. Par exemple, dans l'un des dossiers, un examen négatif était négatif du fait du caractère non diagnostique de l'examen. L'échographiste avait stipulé que la région cible n'avait pas été regardée (pour des raisons techniques). Le médecin

urgentiste responsable du dossier a interprété l'absence de visibilité de la région comme une absence de symptôme alors qu'en fait le symptôme était bien là.

Au plan des erreurs de flexibilité, deux facteurs ont semblé impliqués dans une remise en question insuffisante du diagnostic le plus évident. Le premier concernait la confirmation par le spécialiste de l'hypothèse erronée du médecin urgentiste (biais de confirmation). Le second facteur semblait être la confiance excessive accordée à la fiabilité des résultats d'examens.

Deux sources d'erreurs de synchronisation ont été dégagées. La première était le non passage d'une logique de diagnostic à une logique d'action (six dossiers). Généralement, sous pression temporelle forte, la priorité est donnée à l'action au détriment d'une analyse exhaustive de la situation. Or, il est arrivé que le médecin soit resté trop longtemps sur une logique de diagnostic, multipliant les examens au lieu d'envisager un traitement et de passer à l'action. Par exemple, un bilan biologique d'infarctus est réalisé à 0h30, un électrocardiogramme à 1h23 et le patient décède à 1h45 sans avoir reçu de traitement. La seconde source d'erreurs était une durée d'hospitalisation insuffisante pour un suivi médical satisfaisant (deux dossiers).

Plusieurs aspects interindividuels ont nui à l'élaboration du diagnostic, du fait de l'intervention de plusieurs équipes au cours de la journée et de la nuit (chacune devant repartir à zéro). Le plus souvent, les erreurs de coordination issues de notre échantillon (cinq dossiers) ont été la conséquence d'une mauvaise transmission d'information (quatre dossiers). Le partage de la responsabilité de la décision entre les acteurs du système a parfois induit un retard et conduit à l'erreur.

### **III. CONCLUSION SUR LE CADRE GENERAL**

D'importants enjeux humains, juridiques, et financiers suscitent l'intérêt pour l'étude de l'erreur humaine en médecine et l'investigation des processus cognitifs optimisant la performance en ce domaine. En nous centrant sur un niveau normatif non formalisé, nous avons proposé une approche nouvelle de la question. Nous avons montré dans (Raufaste, 2001) qu'une grande part de processus positifs d'optimisation de l'activation cognitive des experts décrits dans la littérature sont compatibles avec les valeurs de richesse, pertinence et flexibilité. L'étude de terrain rapportée dans ce chapitre visait l'investigation de la face négative de l'optimisation, l'erreur, en recherchant les traces des valeurs de rationalité, au moyen de l'analyse des défaillances non récupérées en médecine d'urgence. Aussi bien quantitativement que qualitativement, nous avons pu exhiber des différences entre les types d'erreurs attendues d'après les valeurs de rationalité, atteignant ainsi l'objectif premier de l'étude. Dans les suites à donner à notre programme de recherche, il conviendra cependant de prendre en compte les erreurs récupérées, lesquelles ont été négligées ici.



Après repérage des dimensions de l'optimisation, des compromis sous-jacents peuvent être explicités, sans considération des processus qui gèrent les valeurs de rationalité : des conduites très différentes peuvent optimiser, partiellement ou non, la performance sur une valeur de rationalité donnée. Le seul invariant requis est la présence de cette valeur de rationalité sous-jacente. A terme, notre approche devrait permettre d'anticiper des obstacles potentiels à une remédiation : toute tentative de remédiation relativement à une dimension particulière devrait aussi prendre en compte les effets collatéraux sur l'optimisation de la performance relativement aux autres dimensions. Pour ne prendre qu'un exemple, nous avons observé que les erreurs de richesse étaient les plus nombreuses. On pourrait donc être tenté de produire simplement des recommandations visant à améliorer la richesse. Mais nous avons rapporté ici un antagonisme entre les valeurs de richesse et pertinence. De ce fait, l'application d'une recommandation maladroite pourrait certes augmenter la richesse, mais au détriment de la pertinence. Ainsi l'optimisation est à envisager au sein d'un système de valeurs et il devient difficile d'adopter une démarche qui chercherait à réduire l'erreur de richesse, par exemple, sans considération préalable des conséquences sur l'optimisation des autres valeurs.

\* \* \*

Nous allons maintenant passer à la question de l'investigation des modèles formels susceptibles de modéliser la performance optimale relativement à deux valeurs de rationalité : la pertinence et la flexibilité.

## CHAPITRE II : APPROCHE NORMATIVE DES VALEURS DE PERTINENCE ET FLEXIBILITE

**Note liminaire** : Dans ce chapitre nous utiliserons les symboles classiques,  $\neg$ ,  $\wedge$ , et  $\vee$  pour dénoter respectivement la négation, la conjonction (et) et la disjonction (ou).

Quand une situation tombe dans le domaine de validité d'une théorie normative, c'est-à-dire si les axiomes de cette théorie sont vérifiés dans la situation, cette théorie devient susceptible de définir le comportement idéal. Ce chapitre rapporte les travaux que nous avons menés en vue d'étudier la plausibilité psychologique d'une approche normative susceptible de rendre compte de deux valeurs de rationalité, la pertinence et la flexibilité. Cette approche permet de traiter directement certaines formes d'incertitude (d'où le lien à la pertinence) et est compatible avec le principal système normatif du raisonnement non monotone, le Système *P* (d'où le lien à la flexibilité).

### I. APPROCHES NORMATIVES DE L'INCERTITUDE<sup>1</sup>

L'incertitude est au cœur de processus de décision cruciaux, comme le diagnostic médical. Pour diverses raisons, la modélisation de l'incertitude chez l'humain a traditionnellement été approchée avec un point de vue probabiliste : la performance humaine était comparée aux prescriptions probabilistes et toute divergence était interprétée comme une déviation du comportement optimal. Dans la même optique, les estimations subjectives de confiance ont souvent été appelées « probabilités subjectives » par les psychologues. Par exemple, Eddy énonce que « les médecins peuvent avoir des degrés de certitude concernant la condition du patient... Nous pouvons associer une probabilité, la probabilité subjective du médecin que le patient ait le cancer avec ce degré de certitude » (1982, p. 251). La théorie des probabilités, en tant que cadre normatif, pourrait ne pas toujours être applicable à toutes les situations auxquelles sont confrontés les humains. Il n'y a ainsi pas de raison de croire que, dans le cas général, les jugements d'incertitude devraient être des probabilités. Comme le remarque Shafer, les probabilités objectives associées aux événements possibles, les « chances », ne sont pas connues et « si nous connaissons les chances, alors nous les adopterons sûrement comme degrés de croyance. Mais si nous ne les connaissons pas, alors ce serait une coïncidence extraordinaire que nos degrés de croyance leur soient égaux » (1976, p. 16). Le besoin d'approches alternatives a été exprimé dans la littérature (e.g., Gigerenzer et al., 1991) mais peu d'études se sont attachées à cette question. Nous commençons par rappeler les problèmes avec la théorie des probabilités,

---

<sup>1</sup> Les sections I à III reprennent de larges extraits de Ce chapitre reprend de larges extraits de Raufaste, Da Silva Neves, & Mariné (2003).

suivis d'arguments suggérant que la théorie des possibilités constitue un cadre normatif alternatif plausible. Nous présentons des expériences soutenant l'idée que la théorie des possibilités (Zadeh, 1978 ; Dubois & Prade, 1987, 1988) pourrait être un meilleur cadre que la théorie des probabilités pour représenter l'incertitude humaine.

### **I.1 Problèmes avec l'approche probabiliste de l'incertitude humaine**

Les estimations subjectives ne se conforment souvent pas aux prescriptions de la théorie des probabilités, notamment à propos de la conjonction et de la disjonction (e.g., Barclay & Beach, 1972; Bar-Hillel (1973); Tversky & Kahneman, 1983; Wyer, 1976). Selon un résultat célèbre, la probabilité que Linda soit caissière dans un banque ET féministe est souvent jugée supérieure à la probabilité que Linda soit caissière dans une banque tout court (Tversky & Kahneman, 1982a). La question de la rationalité de ce comportement n'est pas close. Ainsi, les sujets de ces expériences pourraient s'être conformés à des règles conversationnelles (e.g., Adler, 1991; Dulany & Hilton, 1991). Certaines études sur la révision bayésienne ont obtenu du « conservatisme » (Edward, 1968), c'est-à-dire un poids trop important apporté à la probabilité a priori. Au contraire, d'autres ont observé une négligence de cette probabilité (e.g., Kahneman & Tversky, 1982a).

On peut aussi mettre en doute la pertinence des probabilités en tant que cadre normatif pour le traitement humain de l'incertitude. Tout d'abord, l'information sur l'incertitude est médiée par le langage (ex : « c'est très probable ») et pourrait de ce fait être qualitative par essence, plutôt que numérique. Différents travaux ont étudié les spécificités du traitement humain de l'information sur l'incertitude linguistiquement véhiculée (e.g., Wallsten & Budescu, 1988 ; Wallsten et al., 1993), éventuellement en utilisant des concepts issus de la théorie des ensembles flous (e.g., Rapoport et al., 1987). Le cadre probabiliste décrit mal l'ignorance partielle, c'est-à-dire les cas où l'incertitude à propos d'un événement est faiblement liée à l'incertitude concernant l'événement opposé (Dubois & Prade, 1988). Dans la théorie des probabilités, l'incertitude à propos de  $A$  est exprimé par  $p(A)$ , laquelle est directement liée à  $p(\neg A)$ :

$$p(A) = 1 - p(\neg A) \quad (\text{eq. II.1})$$

Par suite, les probabilités décrivent difficilement les cas où l'on a peu ou pas d'information sur  $A$ , de sorte que  $A$  est possible tandis que  $\neg A$  l'est aussi. Par surcroît, si nous ignorons  $p(A)$  et  $p(B)$  mais savons que  $p(A \vee B) = \frac{1}{2}$ , et si  $A$  et  $B$  sont indépendants, alors le cadre probabiliste requiert que  $p(A)=p(B)=\frac{1}{4}$ . Ce « principe d'indifférence » ne représente pas vraiment l'ignorance mais plutôt le postulat implicite que  $A$  et  $B$  ont la même probabilité a priori, ce qui est discutable (e.g., Shafer, 1976). Afin de représenter l'ignorance partielle, toutes les théories non standard de l'incertitude représentent l'incertitude au moyen de deux mesures (e.g., Dubois & Prade, 1988; Kyburg, 1983; Shafer, 1976). Les fonctions basses sont « subaddi-

tives », c'est-à-dire que les mesures inférieures d'événements complémentaires ne somment pas à 1. Au contraire, les fonctions supérieures sont « superadditives », c'est-à-dire qu'elles produisent une somme généralement supérieure à 1. Chez l'humain, Ayton (1997), rapporte des études dans lesquelles la subadditivité est obtenue, et d'autres dans lesquelles la superadditivité est obtenue. Une explication naturelle de ces résultats contradictoires pourrait être que les humains traitent l'incertitude au moyen de deux estimations, comme le font les approches non standard.

## **I.2 Deux arguments en faveur de la théorie des possibilités**

Les arguments contre la théorie des probabilités en tant que cadre normatif de l'incertitude humaine<sup>1</sup> n'éliminent pas les cadres non standard. Selon nous, le principal avantage de la théorie des possibilités tient au fait que l'incertitude dans les affaires humaines requiert un traitement qualitatif, purement ordinal. C'est la raison pour laquelle une théorie purement psychologique (c'est-à-dire descriptive et non normative) comme la théorie sémantique des faits probants (Miyamoto et al., 1995) revendiquent de travailler sur des fonctions ordinales. Une autre théorie psychologique, la théorie du soutien (« Support Theory », Tversky & Koehler, 1994) incorpore aussi une extension ordinale. D'un point de vue psychologique, la théorie des probabilités et la théorie des faits probants de Shafer sont toutes deux affectées par le problème de l'incertitude ordinale car ces théories sont numériques par nature et ne peuvent s'appliquer à de l'incertitude exprimée verbalement. Au contraire, la théorie des possibilités est compatible avec un traitement qualitatif de l'incertitude.

Autre argument, les probabilités subjectives apparaissent souvent mal calibrées (e.g., Lichtenstein et al., 1982), avec des différences systématiques entre les probabilités objectives et subjectives d'événements de la vie réelle (voir cependant Gigerenzer et al., 1991). En revanche, dans le travail de Zimmer (1983, 1986), des étudiants sont apparus bien calibrés lorsque les probabilités objectives étaient tracées en regard de la valeur médiane de fonctions de possibilité représentant la signification de marqueurs linguistiques. Nous allons maintenant présenter la théorie des possibilités, initiée par Zadeh (1978) et développée par Dubois et Prade (1988).

## **I.3 Comparaison des mesures probabilistes et possibilistes**

Soit  $X$  une variable aléatoire mal connue, comme le mal dont souffre un patient, et  $\Omega_X$ , l'ensemble des valeurs  $\omega$  que  $X$  peut prendre.  $\Omega_X$  pourrait inclure toutes les pathologies plausibles dans le contexte.  $\omega$  serait une hypothèse diagnostique particulière. Zadeh (1978) a défini une « distribution de possibilités »  $\pi_X(\omega): \Omega \rightarrow [0, 1]$  -- cet intervalle étant pris comme ensemble de valeurs ordinales ou numériques -- qui

---

<sup>1</sup> Bien sûr, les probabilités standard ne sont pas nécessairement complètement inadéquates (e.g., Cosmides & Tooby, 1996). De plus, probabilités et possibilités ne sont pas complètement indépendantes. Zadeh (1978) a énoncé un principe de consistance possibilités/probabilités, et il existe des règles pour passer de possibilité à probabilité, et de probabilité à possibilité (Dubois, Prade, & Sandri, 1993)

exprime le degré auquel il est possible que la valeur réelle de  $X$  soit  $\omega$ . Si  $X$  est « la maladie de Pierre »,  $\omega$  est « atelectasie »,  $\pi_x(\omega)$  est le degré auquel il est possible que Pierre ait une atelectasie. Maintenant, si  $A$  est un événement (i.e., un sous-ensemble de  $\Omega$ ), Zadeh (1978) définit la « **mesure de possibilité** » que  $A$  soit juste comme  $I\!I(A) = \sup_{\omega \in A} \pi_x(\omega)$ . En d'autres termes,  $I\!I(A)$  exprime le degré auquel  $A$  est cohérent avec toute l'information disponible sur les valeurs possibles de  $X$ . Si  $A$  est une pathologie, la relation peut être interprétée comme le niveau de possibilité que le patient ait l'une des variantes de  $A$ . Nous avons alors  $I\!I(\Omega) = 1$  et  $I\!I(\emptyset) = 0$ . Une propriété caractéristique des mesures de possibilité est la “max-décomposabilité”: la possibilité qu'un patient ait au moins l'une des deux maladies  $A$  ou  $B$  est égale à possibilité de la plus possible des deux :

$$I\!I(A \vee B) = \text{Max}[I\!I(A), I\!I(B)] \quad (\text{eq. II.2})$$

Au contraire les probabilités sont additives:

$$p(A \vee B) = p(A) + p(B) - p(A \wedge B) \quad (\text{eq. II.3})$$

La dualité a été introduite dans la théorie des possibilités par Dubois et Prade (1980). La mesure duale de la possibilité est la nécessité (dénotée  $N$ ) :

$$N(A) = 1 - I\!I(\neg A) \quad (\text{eq. II.4})$$

Ainsi dans le cas général, on a

$$I\!I(A) \geq N(A) \quad (\text{eq. II.5})$$

ce qui exprime le fait intuitif que quelque chose doit être possible à un certain niveau avant de commencer à être certain. En fait, la possibilité spécifie les relations entre  $I\!I$  et  $N$  d'une manière plus précise:  $I\!I(A) = 1$  si  $N(A) > 0$  et  $N(A) = 0$  si  $I\!I(A) < 1$ . Ce qui peut être réécrit en une règle unique

$$(I\!I(A) < 1 \wedge N(A) > 0) = \perp, \quad (\text{eq. II.6})$$

c'est-à-dire que  $I\!I(A)$  ne devrait jamais être inférieure à 1 dès que  $N(A) > 0$ . La relation duale de la max-décomposabilité des possibilités est la “min-décomposabilité des nécessités”:

$$N(A \wedge B) = \text{Min}(N(A), N(B)) \quad (\text{eq. II.7})$$

Une autre propriété qui distingue les mesures de possibilité et probabilité est la relation entre les mesures associées aux événements complémentaires  $A$  et  $\neg A$ . La relation probabiliste est (eq II.1). En tant que telle, la relation entre  $p(A)$  et  $p(\neg A)$  est totalement déterminée. Au contraire,  $I\!I(A)$  et  $I\!I(\neg A)$  sont faiblement dépendantes dans les situations de la vie réelle comme le diagnostic médical. Par exemple, étant donné un fait probant donné,  $A$  peut être pleinement possible en même temps que  $\neg A$  est quelque peu possible. Seule une inégalité s'applique:

$$\Pi(A) + \Pi(\neg A) \geq 1 \quad (\text{eq. II.8})$$

qui traduit la « superadditivité » des mesures de possibilité. Par dualité,

$$N(A) + N(\neg A) \leq 1 \quad (\text{eq. II.9})$$

traduit la « subadditivité » des mesures de nécessité. Les deux premières relations montrent que les mesures possibilistes expriment l'ignorance partielle avec plus de flexibilité que ne le font les mesures probabilistes.

Nous avons maintenant les principales relations à tester. Toutes ces relations s'appliquent dans les deux versions de la théorie des possibilités, numérique et qualitative, tandis que la théorie des probabilités ne s'applique pas aux mesures ordinales. Dénotons  $\pi$  et  $\nu$  respectivement les possibilités et nécessités mesurées auprès de juges humains. La question est de tester si les relations impliquant  $\pi$  et  $\nu$  se conforment aux relations que la théorie des possibilités prescrit pour  $\Pi$  et  $N$ . Les expériences rapportées impliquent des radiologues expérimentés confrontés à des cas médicaux réels.

## II. PREMIER TEST DE LA THEORIE DES POSSIBILITES

### II.1 Méthode

**Participants.** Quatre radiologues ont été volontaires. Leur expérience professionnelle allait de 8 à 17 ans après la fin de l'internat (expérience moyenne : 12.0 ans).

**Matériel et procédure.** Vingt-huit images numérisées de 28 patients sans histoire clinique ont été montrées sur un PC, dont deux pour la familiarisation avec la tâche. Tous les films présentaient des pathologies réelles et les radiologues étaient prévenus qu'aucun film n'était normal. Pour chaque cas, les radiologues déclenchaient l'apparition de l'image et pouvaient explorer l'image aussi longtemps qu'ils le souhaitent. La première question demandait au sujet d'entrer deux diagnostics. Supposons que le médecin ait tapé « atélectasie » et « effusion pleurale », l'ordinateur générait les questions à propos des diagnostics.

Pour  $\pi(X)$ : À quel degré est-il possible que le diagnostic « Atélectasie » soit correct ?

Pour  $\nu(X)$ : À quel degré est-il certain que le diagnostic « Atélectasie » soit correct ?

Pour  $\pi(\neg X)$ : À quel degré est-il possible que le diagnostic « Atélectasie » soit faux ?

Les réponses étaient exprimées par un curseur qui glissait de « pas possible du tout » à « tout à fait possible » pour les jugements de possibilité, et de « pas certain du tout » à « tout à fait certain » pour les jugements de nécessité. Le curseur retournait une valeur entre 0 et 100 inclus. Ces valeurs étaient utilisées directement comme jugements de confiance.

**Analyse.** Les différences ont été testées par le test  $t$  classique. Les égalités ont été testées au moyen de corrélations canoniques et du test  $t$  de la différence. Bien sûr, trouver une absence de différence significative ne permet pas d'affirmer que la différence est négligeable. Aussi avons-nous ajouté une procédure d'inférence fiduciaire (Rouanet, 1996). Une telle procédure est complémentaire de l'inférence fréquentiste traditionnelle et calcule la garantie  $\gamma$  qu'a le chercheur en affirmant la grandeur ou la petitesse d'un effet. Selon Rouanet, un effet standardisé  $|\delta_{\text{cal}}| < .4$  peut être considéré comme petit et une garantie raisonnable est  $\gamma = p(|\delta_{\text{cal}}| < .4) \geq .9$ .

### II.2 Résultats

Notons  $X$  l'hypothèse jugée la plus plausible. Concernant la dualité (eq. 4), les corrélations positives attendues entre  $\nu(X)$  et  $100 - \pi(\neg X)$  étaient fortes,  $r_{(103)} = .71$ ,  $p < .001$ , tout comme les corrélations entre  $\nu(\neg X)$  et  $100 - \pi(X)$ ,  $r_{(103)} = .69$ ,  $p < .001$ . La

différence moyenne était significative,  $m_d = 2,01$ ;  $t_{(103)} = 1.49$ ,  $p = .138$ . L'inférence fiduciaire indiquait que l'égalité pouvait être assumée avec une garantie raisonnable  $\gamma = p(|\delta_{\text{cal}}| < .376) = .99$ . La seconde égalité,  $\nu(\neg X) = 100 - \pi(X)$ , n'a pas marché aussi bien : la différence moyenne était faible,  $m_d = 3.75$ , mais significative,  $t_{(103)} = 3.24$ ,  $p = .002$ . Les participants se sont conformés à (eq. II.5) : avec un test  $t$  apparié,  $\pi(X)$  était significativement plus grande que  $\nu(X)$ , 83.2 contre 76.3,  $t_{(103)} = 6.04$ ;  $p < .001$ . Les participants ne se sont pas conformés du tout à (eq. II.6) : si les règles avaient été satisfaites, nous aurions eu peu de cas tels que ( $\pi(A) < 100$  et  $\nu(A) > 0$ ). Mais dans 96 cas sur 104, les radiologues ont indiqué  $\nu(A) > 0$  et  $\pi(A) < 100$ ,  $z_{(103)} = 5.47$ ,  $p < .001$ . La superadditivité des fonctions de possibilité (eq. II.8) a été validée, avec  $\pi(X) + \pi(\neg X) \approx 108.9 > 100$ ,  $t_{(103)} = 5.87$ ;  $p < .001$ . La subadditivité des fonctions de nécessité (eq. II.9) a aussi été validée,  $\nu(X) + \nu(\neg X) \approx 96.8 < 100$ ,  $t_{(103)} = -2.56$ ;  $p = .006$ .

### II.3 Discussion

Au total, les résultats soutiennent des propriétés importantes de la théorie des possibilités, notamment la dualité. La subadditivité des mesures de nécessité et la superadditivité des mesures de possibilité sont importantes parce qu'elles ne sont pas compatibles avec une interprétation probabiliste standard. Toutefois, ces résultats sont compatibles avec d'autres théories non standard comme les fonctions de croyance et de plausibilité (Shafer, 1976). De plus, il y a clairement un problème avec (eq. II.6). Dans la section suivante, nous défendons l'idée qu'il s'agit d'un artefact méthodologique auquel nous proposons une solution technique.

### III. UNE NOUVELLE MESURE D'INCERTITUDE : L'ECHELLE- $\Psi$

La théorie des probabilités utilise une unique mesure d'incertitude tandis que la théorie des possibilités utilise deux mesures. Idéalement, un dispositif pour comparer les deux cadres théoriques permettrait aux juges de fournir leurs estimations en une seule mesure (afin qu'un bruit de mesure ne soit pas ajouté aux jugements de confiance spontanés) et à l'expérimentateur de reconstituer à la fois les mesures de possibilité et de nécessité. Les mesures de possibilité et de certitude ne sont compatibles avec la théorie des possibilités que si quelque chose est tout à fait possible avant d'être quelque peu certain. Donc si une mesure de possibilité est pertinente pour tester une hypothèse donnée (i.e.,  $\pi(A) < 1$ ), alors demander une mesure de nécessité n'est pas pertinent. Réciproquement, si une mesure de nécessité est appropriée,  $N(A) > 0$ , alors une mesure de possibilité ne l'est pas. Nous proposons donc la solution suivante : les participants choisissent de donner soit une possibilité soit une nécessité. Maintenant, comment comparer de telles mesures avec une mesure de probabilité subjective singulière par nature ? Didier Dubois (communication personnelle) a proposé d'utiliser une échelle unique combinant les deux mesures, possibilité et nécessi-

té. Nous appellerons « échelle- $\Psi$  » l'échelle où les mesures de possibilité et nécessité sont moyennées en une mesure- $\Psi$ .

$$\Psi(h) = \frac{1}{2}[\Pi(h) + N(h)] \quad \text{(eq. II.10)}$$

Réciproquement, après avoir mesuré un degré de confiance avec une mesure unique, selon l'usage habituel, on peut reconstruire à la fois  $\Pi$  et  $N$  :

$$\left| \begin{array}{l} \text{Si } \Psi(h) \leq \frac{1}{2} \text{ alors } \Pi(h) = 2 * \Psi(h) ; N(h) = 0 \\ \text{Si } \Psi(h) \geq \frac{1}{2} \text{ alors } \Pi(h) = 1 ; N(h) = 2 * \Psi(h) - 1 \end{array} \right. \quad \text{(eq. II.11)}$$

Ce dispositif permet une comparaison des cadres probabilistes et possibilistes car on peut directement utiliser la mesure- $\Psi$  comme une mesure de probabilité subjective. Tout comme une probabilité, la mesure- $\Psi$  est auto-duale :

$$\Psi(h) = 1 - \Psi(-h) \quad \text{(eq. II.12)}$$

Dans la théorie des possibilités, l'incertitude totale est la conjonction de  $\Pi(h) = 1$  et  $N(h) = 0$  : « tout est possible et rien n'est certain ». Ainsi, avec l'échelle- $\Psi$ , l'incertitude totale est dénotée par  $\Psi(h) = \frac{1}{2}$ . Si le traitement humain de l'incertitude est conforme à la théorie des possibilités, nous devrions pouvoir identifier les mesures- $\Psi$  avec des mesures directes de probabilité subjective. L'échelle- $\Psi$  représente la forme générale des échelles utilisées dans l'étude de Carlson & Dulany (1988) sur la révision de croyance à partir de l'évidence en situation simulée de meurtres à élucider. Ces échelles vont d'un état de certitude négative à un état de certitude positive en passant par une étape intermédiaire d'incertitude totale. Comme le "certainty factor" de MYCIN, les mesures de Carlson et Dulany varient entre  $-1$  et  $+1$ ,  $0$  étant l'incertitude totale, et il est facile de vérifier qu'il existe une bijection entre les deux types d'échelles : il suffit d'appliquer une fonction  $y = (x+1)/2$  pour passer de la première à la seconde (Prade, 1985 ; Prade et Testemale, 1986).

## IV. TESTS UTILISANT L'ECHELLE- $\Psi$

### IV.1 Disjonction

Cette expérience a été conçue pour (a) tester si les mesures de l'échelle- $\Psi$  peuvent être utilisées directement comme des mesures directes de probabilité subjective; (b) tester quelques postulats de base de la théorie des possibilités, et particulièrement comparer la max-décomposabilité des mesures possibilistes (eq. II.2) contre le modèle probabiliste de la disjonction (eq. II.3). L'expérience visait la réplication, à l'aide de mesures- $\Psi$  des résultats satisfaisants sur la dualité (eq. II.4) obtenus dans l'expérience II. L'auto-dualité des mesures- $\Psi$  (eq. II.12) a aussi été testée. Notons  $\Psi(.)$  la mesure- $\Psi$  directe,  $\pi(.)$  et  $\nu(.)$  les mesures de possibilité et nécessité respectivement dérivées de  $\Psi(.)$  par (eq. II.11),  $\Pi(.)$  et  $N(.)$  les modèles possibilistes. Par



exemple, supposons qu'un participant ait donné  $\Psi(A)$ ,  $\Psi(B)$ ,  $\Psi(A \vee B)$ , où  $A$  et  $B$  sont deux hypothèses diagnostiques. Appliquons (eq. II.11) à  $\Psi(A)$ ,  $\Psi(B)$  et  $\Psi(A \vee B)$  respectivement. Nous obtenons  $\pi(A)$ ,  $\pi(B)$ , et  $\pi(A \vee B)$ . En appliquant (eq. II.2), nous obtenons  $\Pi(A \vee B) = \text{Max}(\pi(A), \pi(B))$ . Il ne reste qu'à vérifier comment  $\Pi(A \vee B)$ , le modèle possibiliste de la disjonction, s'ajuste à  $\pi(A \vee B)$ , la valeur observée de la disjonction.

### Méthode

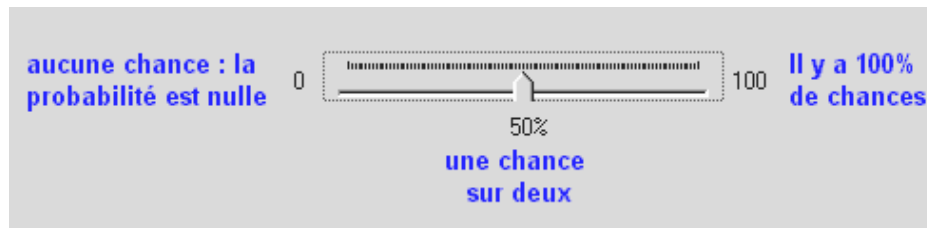
La position initiale est celle de la figure : tout est possible, rien n'est certain.

**Participants.** Quatre radiologues ont été volontaires. Leur expérience professionnelle allait de 6 à 17 ans après la fin de l'internat (expérience moyenne : 10.5 ans).

**Matériel.** Vingt-cinq images numérisées de 25 patients ont été montrées sur un PC, dont une pour la familiarisation avec la tâche. Afin de tester les théories normatives sur un large spectre d'incertitude, nous avons manipulé l'incertitude : une courte histoire clinique a été donnée, accompagnée de deux diagnostics choisis sur la base de leur compatibilité avec les interprétations typiques des indices saillants sur les radiographies. Les radiologues testés entraient leurs jugements de confiance dans l'ordinateur au moyen d'un objet logiciel que nous avons développé pour implémenter l'échelle- $\Psi$  (Figure II.3). Le programme retournait une valeur de possibilité et une valeur de nécessité dans l'intervalle  $[0, 100]$ .

**Figure II.3 : Outil de saisie des valeurs de possibilité et certitude (état initial)**

La question directe de probabilité était enregistrée par un curseur variant de 0 (« aucune chance, la probabilité est nulle ») à 100 (« il y a 100% de chances »). Initialement, le curseur était positionné au milieu, intitulé « 50% une chance sur deux ».



**Figure II.4 : L'échelle de saisie du jugement direct de probabilité subjective**

**Procédure.** Chaque cas était traité comme suit. Les radiologues lisaient une courte histoire clinique et deux diagnostics attribués à un novice de première année. Une série de questions était alors présentée aux participants. La première demandait au radiologue d'entrer ses diagnostics, avec les jugements de confiance associés. Appelons  $X$  le jugement ayant la plus forte plausibilité parmi les options proposées par le radiologue,  $A$  et  $B$  les premier et second diagnostics attribués au novice, respectivement. Le radiologue devait donner son propre jugement de confiance pour  $A$ , pour  $B$ , pour la disjonction  $A \vee B$  et pour la conjonction  $A \wedge B$ . La question finale demandait aux participants de faire un jugement direct de probabilité sur  $X$ .

### Résultats

**Probabilités subjectives comme possibilités subjectives.** La corrélation entre mesures- $\Psi$  et probabilités directes était forte et positive,  $r_{(95)}=.61$ ;  $p<.001$ . La différence non signi-

ficative entre mesures de probabilité subjective et mesures- $\Psi$ ,  $t_{(95)}=0.39$  pouvait être négligée avec une garantie confortable  $\gamma = p(|\delta_{cal}| < .366) = .999$ . Pour utiliser les mesures- $\Psi$  comme mesures probabilistes, il est utile d'évaluer l'imprécision de l'outil. L'erreur moyenne était inférieure à 1% ( $0.71$ ;  $SD = 1.80$ ), ce qui est bien. Ainsi, nous pouvons nous attendre à ce que l'erreur commise en utilisant les mesures- $\Psi$  comme des probabilités subjectives tombe dans l'intervalle  $[-4.3\%, +2.9\%]$  pour 95% des observations ( $m \pm 2\sigma$ , pour des observations allant de 0 à 100). En conséquence, il paraît légitime d'utiliser les mesures- $\Psi$  comme des mesures de probabilité subjective.

**Disjonction.** Dans 12 cas sur 96, les radiologues ont produit des mesures incompatible avec le cadre probabiliste car le modèle conduisait à des prédictions négatives (1 cas) ou supérieures à 100 (11 cas). Ces mesures restaient compatibles avec le modèle possibiliste mais par prudence ces cas ont été exclus du calcul d'ajustement entre les données et le modèle probabiliste. Les résultats (Tableau II.1) montrent que les deux modèles, probabiliste et possibiliste se sont ajustés aux données. La max-décomposabilité, qui n'est requise que pour les mesures de possibilité, a aussi donné un bon ajustement avec les mesures de nécessité et les mesures- $\Psi$ .

**Dualité.** La dualité des mesures  $\pi$  et  $\nu$  ainsi que l'auto-dualité des mesures- $\Psi$  ont été clairement obtenues. Pour une relation,  $\nu(\neg X) = 100 - \pi(X)$ , 93 paires sur 96 étaient exactement égales, ce qui est remarquable. Pour les autres relations, les corrélations variaient de .51 à .79 ( $n=96$ ,  $p_s < .001$ ) et, comme prévu, les différences ont été faibles et non significatives. Toutes les garanties fiduciaires ont dépassé .90.

Modèles de disjonction	Corrélations	Comparaison descriptive						Inférence statistique		
	observé – prédit	Obs.	Pred.	$d_{obs}$	$s_{obs}$	$\delta_{cal}$	$t$	sig.	$\gamma$	
Max (sur $\pi$ )	$r_{(94)} = .80$ $p < .001$	75.4	76.0	-0.6	25.4	-0.024	-0.24	<i>ns</i>	.999	
Max (sur $\mathcal{Y}$ )	$r_{(94)} = .88$ $p < .001$	59.2	58.0	1.2	18.2	0.066	0.65	<i>ns</i>	.999	
Proba (sur $\mathcal{Y}$ )	$r_{(82)} = .83$ $p < .001$	56.2	54.0	2.2	22.1	0.101	-0.53	<i>ns</i>	.996	

**Tableau II.1: Disjonctions observées vs. disjonctions possibiliste et probabiliste**

**En résumé,** le modèle possibiliste s'est bien ajusté aux données, en fait mieux que le modèle probabiliste qui n'était pas compatible avec environ 10% des données.

## IV.2 Conjonction

Dans l'expérience II, nous n'avons pas distingué les cas où les événements élémentaires étaient indépendants des cas où ils ne l'étaient pas. De ce fait, nous ne pouvions tester formellement la conjonction car ces deux conditions requièrent des calculs différents. L'expérience III a été conçue pour répliquer les résultats précédents et pour étendre le test des propriétés combinatoires à la conjonction. Comme dans l'expérience précédente, dénotons  $\Psi(\cdot)$  le degré de confiance mesuré par l'échelle- $\Psi$ ,  $\pi(\cdot)$  et  $\nu(\cdot)$  les possibilité et nécessité observées  $\Psi(\cdot)$ ,  $\Pi(\cdot)$ ,  $N(\cdot)$ , les modèles possibilistes et  $p(\cdot)$  le modèle probabiliste.

Dans la condition d'indépendance, la conjonction a été calculée en utilisant  $p(A \wedge B) = \Psi(A) * \Psi(B)$  pour le modèle probabiliste, et  $N(A \wedge B) = \text{Min}(\nu(A), \nu(B))$  pour le modèle possibiliste (selon eq. II.7). Dans la condition de dépendance, la conjonction a été calculée par  $p(A \wedge B) = \Psi(A) * \Psi(B|A) = \Psi(B) * \Psi(A|B)$  pour le modèle probabiliste, et  $N(A \wedge B) = \text{Min}(\nu(A), \nu(B|A) = \text{Min}(\nu(B), \nu(A|B))$  pour le modèle possibiliste. Les modèles de disjonction ont été calculés comme dans l'expérience précédente car la disjonction n'est pas sensible à la dépendance des événements.

### Méthode

**Participants.** Quatre radiologues ont été volontaires. Leur expérience professionnelle allait de 6 à 17 ans après la fin de l'internat (expérience moyenne : 10.5 ans).

**Matériel.** La méthode était similaire à celle présentée dans l'expérience précédente. En plus, deux conditions ont été générées. Dans la condition d'indépendance (12 cas), les diagnostics du novice étaient indépendants. Les radiographies furent choisies de manière à montrer deux ensembles différents de données, chacun conduisant à un type spécifique de diagnostic. Dans la condition de dépendance (12 cas), les radiographies et les diagnostics proposés ont été choisis de façon à ce que les deux diagnostics soient mutuellement exclusifs (6 cas) ou mutuellement consistants (6 cas). Dans la condition d'exclusivité mutuelle, les diagnostics ont été choisis de façon à ce que si l'un expliquait les données, l'autre n'avait aucune raison d'être correct. Au contraire, les diagnostics mutuellement consistants ont été choisis de façon à ce que si l'un était correct, l'autre serait aussi probablement correct.

**Procédure.** La procédure était la même que dans l'expérience II, mais les questions sur la dualité et la probabilité subjective directe ont été remplacées par des questions conditionnelles ( $A|B$ ) et ( $B|A$ ). Par exemple, si  $A$  était l'atélectasie, et  $B$ , l'effusion pleurale,  $\Psi(A|B)$  était mesurée par une question du type « en supposant que le diagnostic d'effusion pleurale soit correct, à quel degré vous semble-t-il plausible que le diagnostic d'atélectasie soit correct ? »

### Résultats

**Disjonction.** Dans 19 cas sur 96, les mesures étaient incompatibles avec le cadre probabiliste (mais compatibles avec le modèle possibiliste) car conduisant à des prédictions négatives (1 cas) ou supérieures à 100 (18 cas) (Tableau II.2).

Modèles de disjonction	Corrélations	Comparaison descriptive					Inférence statistique		
	observé – prédit	Obs.	Pred.	$d_{obs}$	$s_{obs}$	$\delta_{cal}$	$t$	sig.	$\gamma$
Max (sur $\Pi$ )	$r_{(94)} = .775 \ p < .001$	89.8	88.9	1.0	18.2	.055	0.52	<i>ns</i>	.999
Max (sur $\Psi$ )	$r_{(94)} = .835 \ p < .001$	77.5	74.3	3.2	17.5	.183	1.80	<i>ns</i>	.982
Proba (sur $\Psi$ )	$R_{(75)} = .749 \ p < .001$	73.4	65.6	7.8	22.4	.348	3.04	.003	ei**

**Tableau II.2: Disjonctions observées vs. disjonctions possibiliste et probabiliste**

\*\*effet indéterminé : la négligeabilité ne peut être affirmée

Ces cas ont été exclus du calcul d'ajustement entre données et modèle probabiliste. Néanmoins les résultats (Tableau II.2) montrent que le modèle possibiliste était mieux ajusté aux données que le modèle probabiliste car la différence entre données et modèle était non significative et garantie négligeable avec les possibilités, tandis qu'elle était significative et non garantie négligeable pour le modèle probabiliste.

Comme dans l'expérience précédente, nous avons trouvé un ajustement encore meilleur en appliquant la max-décomposabilité aux mesures- $\mathcal{P}$ . Ainsi, du point de vue de la disjonction, les résultats de cette expérience ont répliqué les résultats de l'expérience II.

**Conjonction.** Dans la condition d'indépendance, les données se sont mieux ajustées au modèle possibiliste qu'au modèle probabiliste (Tableau II.3) car la différence entre les données et le modèle probabiliste était significative.

Modèles de Conjonction	Corrélations	Comparaison descriptive					Inférence statistique		
	observé – prédit	Obs.	Pred.	$d_{obs}$	$s_{obs}$	$\delta_{cal}$	$t$	sig.	$\gamma$
Min (sur $N$ )	$r_{(46)} = .856 \ p < .001$	27.6	24.0	3.6	20.0	.182	1.30	ns	.931
Min (sur $\mathcal{P}$ )	$r_{(46)} = .919 \ p < .001$	37.0	35.4	1.6	16.1	.102	0.70	ns	.977
Proba (sur $\mathcal{P}$ )	$R_{(46)} = .919 \ p < .001$	37.0	32.5	4.5	16.1	.283	1.96	.028	ei**

**Tableau II.3: modèles de conjonction (condition d'indépendance)**

\*\*effet indéterminé : la négligeabilité ne peut être affirmée

L'inférence fiduciaire a permis d'affirmer la négligeabilité de l'écart entre les données et le modèle possibiliste, mais pas pour le modèle probabiliste. Dans la condition de dépendance, aucun modèle ne s'est ajusté aux données: toutes les différences entre données et modèles ont été significatives. Les données observées étaient en dessous des valeurs prédites,  $p_s \leq .001$ . Les deux types de modèles doivent donc être rejetés. Par contre, en appliquant les modèles de la condition d'indépendance aux données de la condition de dépendance, ces « modèles simplifiés » s'ajustent raisonnablement bien (Tableau II.4).

Modèles de Conjonction	Corrélations	Comparaison descriptive					Inférence statistique		
	observé – prédit	Obs.	Pred.	$d_{obs}$	$s_{obs}$	$\delta_{cal}$	$t$	sig.	$\gamma$
Min (sur $N$ )	$r_{(46)} = .70 \ p < .001$	17.3	18.3	-1.0	25.9	-.037	-0.26	ns	.990
Min (sur $\mathcal{P}$ )	$r_{(46)} = .67 \ p < .001$	31.2	34.6	-3.4	28.5	-.118	-0.82	ns	.971
Proba (sur $\mathcal{P}$ )	$r_{(34)} = .90^{**} \ p < .001$	33.9	25.4	8.5	16.8	.503	3.02	.005	ei***

**Tableau II.4: modèles de conjonction (condition d'indépendance)**

\*\*Cette corrélation paraît plus forte, mais le modèle possibiliste calculé sur les données ne rejetant pas le modèle probabiliste donne une corrélation comparable ( $r(34) = .89$ ;  $p < .001$ ).

\*\*effet indéterminé : la négligeabilité ne peut être affirmée

Ainsi les radiologues semblent avoir traité la conjonction dans la condition dépendante comme si les diagnostics élémentaires étaient indépendants. Les protocoles verbaux spontanés ont montré que les participants traitaient les éléments incompatibles comme complètement exclusifs et donnaient une valeur nulle à la conjonction même si les deux jugements de confiance élémentaires étaient non nuls. Si nous distinguons les cas où les diagnostics élémentaires étaient mutuellement exclusifs de ceux où ils étaient consistants, nous trouvons que les corrélations entre les modèles et les données étaient bonnes pour les éléments consistants, (de  $r_{(23)} = .74$  à  $r_{(23)} = .87$ ,

$p_s < .001$  en unilatéral) tandis qu'ils étaient bas pour les diagnostics mutuellement exclusifs (de  $r_{(23)} = .24$ ,  $p = .053$  à  $r_{(23)} = .53$ ,  $p = .004$ , en unilatéral). En comparant les cadres probabilistes et possibilistes aux modèles simplifiés (en traitant les conjoints dépendants comme soit indépendants soit totalement exclusifs), seul le modèle possibiliste s'ajustait correctement aux données.

### Discussion

Les résultats de l'expérience III répliquent et étendent ceux de l'expérience II. Pour la disjonction, les modèles possibilistes étaient meilleurs car les valeurs absolues des données s'écartaient significativement du seul modèle probabiliste. Les résultats pour la conjonction sont plus contrastés : dans la condition d'indépendance, le modèle possibiliste a fait mieux que le modèle probabiliste mais dans la condition de dépendance, aucun n'a été satisfaisant. Néanmoins, à partir de ces résultats nous pouvons proposer une nouvelle hypothèse concernant les algorithmes combinatoires utilisés pour les conjonctions : pour les événements indépendants et mutuellement consistants, une règle min est appliquée. Pour les événements mutuellement exclusifs, les sujets attribuent une règle min ou bien posent une valeur nulle. Nous appelons cet algorithme la « **conjonction satisfaisante** ». Il serait intéressant de revenir aux résultats de l'expérience II et répliquer ce résultat. Dans l'expérience II nous ne pouvions distinguer les conditions de dépendance et d'indépendance et la conjonction ne pouvait être testée formellement. Mais nous pouvons tester la conjonction satisfaisante.

Seul le modèle possibiliste de la conjonction rend compte des données de l'expérience II (Tableau II.5) car, comme dans l'expérience III, la différence entre les données et le modèle probabiliste était significative. Si nous testons le modèle probabiliste sans les cas qui conduisent la disjonction prédite à des valeurs incohérentes, la différence est encore plus forte ( $d = 5.5$ ,  $t(83) = 4.33$ ,  $p < .001$  en bilatéral).

Modèles de Conjonction	Corrélations	Comparaison descriptive						Inférence statistique		
	observé – prédit	Obs.	Pred.	$d_{obs}$	$s_{obs}$	$\delta_{cal}$	$t$	sig.	$\gamma$	
Min (on $N$ )	$r_{(94)}=.786$ $p<.001$	22.5	21.1	1.3	23.2	.058	0.57	<i>ns</i>	.999	
Min (on $\mathcal{Y}$ )	$r_{(94)}=.809$ $p<.001$	34.1	35.0	-0.8	23.1	-.037	-0.37	<i>ns</i>	.999	
Proba (on $\mathcal{Y}$ )	$r_{(76)}=.921^{**}$ $p<.001$	34.1	26.0	7.8	15.2	.511	4.49	<.001	<i>ue***</i>	

**Tableau II.5: Test des modèles possibiliste et probabiliste sur les résultats de l'expérience II.**

\*\*Cette corrélation paraît plus forte, mais le modèle possibiliste calculé sur les données ne rejetant pas le modèle probabiliste donne une corrélation comparable,  $r(76) = .921$ ;  $p < .001$ .

\*\*effet indéterminé : la négligeabilité ne peut être affirmée

### **IV.3 Bilan des tests sur le traitement possibiliste de l'incertitude**

Dans trois expériences nous avons testé si la théorie des possibilités décrit les jugements d'incertitude, et surtout si cette description est meilleure ou non que celle fournie par la théorie des probabilités. Aucun des participants n'avait reçu

d'instruction en théorie des possibilités. Au contraire, tous avaient reçu une formation à la théorie des probabilités à un moment ou un autre de leur cursus. Par conséquent, si les raisonnements et jugements avaient été biaisés par le savoir théorique, cela aurait dû favoriser la théorie des probabilités.

Contrairement à la plupart des expériences en psychologie, les participants de l'expérience I ont pu évaluer l'incertitude au moyen de deux mesures directes, une « possibilité subjective » et une « nécessité subjective ». Ces valeurs respectaient une relation de dualité,  $\Pi(A) = 1 - N(\neg A)$ , ce qui est compatible avec la théorie des possibilités mais ne peut être prédit par la théorie des probabilités. Les possibilités observées ont généralement été superadditives, tandis que les nécessités ont généralement été subadditives. Ce résultat, prédit par la théorie des possibilités, n'est pas compatible avec la théorie standard des probabilités. En revanche, dans beaucoup de cas,  $N(A)$  était supérieure à zéro, avec  $\Pi(A) < 1$ , ce n'est pas compatible avec la théorie des possibilités. Toutefois, pour chaque évaluation, une seule mesure est suffisante dans la théorie des possibilités : si  $N(A) > 1$  alors  $\Pi(A)$  doit être 1. Par conséquent dans un tel cas, la mesure de  $\Pi$  n'est pas pertinente. Réciproquement, si  $\Pi(A) < 1$  alors on a nécessairement  $N(A) = 0$  et c'est la mesure de  $N$  qui n'est pas pertinente. Puisqu'une seule mesure est suffisante, nous avons construit un dispositif de mesure appelé échelle- $\Psi$ . Ce dispositif permet au juge de choisir la mesure (possibilité ou nécessité) qui lui paraît pertinente, puis de donner une réponse sur le curseur correspondant. La mesure non pertinente ( $N$  ou  $\Pi$ ) reçoit sa valeur par défaut (0 pour  $N$ , 1 pour  $\Pi$ ). La mesure- $\Psi$  est calculée en moyennant la possibilité et la nécessité donnée par l'échelle- $\Psi$ . Un résultat important est que les mesures- $\Psi$  et les mesures ordinaires de « probabilité subjective » étaient à peu près égales. Le second point important est que la dualité vérifiée dans l'expérience I a été répliquée avec succès dans les expériences II et III qui utilisaient l'échelle- $\Psi$  : la relation  $\Pi(A) = 1 - N(\neg A)$  a été vérifiée dans les trois expériences, ce qui n'est pas une prédiction triviale. Le troisième résultat important est que le modèle possibiliste de la disjonction s'est mieux ajusté aux données que le modèle probabiliste : un axiome caractéristique de la théorie des possibilités (la max-décomposabilité des possibilités) semble compatible avec le jugement humain. Le quatrième résultat important est que le modèle possibiliste a bien marché pour la conjonction, mais seulement quand les conjoints étaient indépendants. Dans ce cas, il a marché mieux que le modèle probabiliste. Quand les conjoints étaient indépendants, aucun des deux modèles n'a marché. Toutefois, une heuristique qualitative que nous avons appelé « conjonction satisfaisante » a semblé être utilisée par les participants : pour les événements mutuellement exclusifs, soit les participants attribuaient une valeur nulle soit ils utilisaient la règle du min.

Nous avons donc montré qu'un traitement possibiliste de l'incertitude, au moins partiel, est très plausible chez l'humain. L'incertitude renvoie à la valeur de pertinence, mais l'approche possibiliste permet aussi d'aborder la troisième valeur de ra-

tionalité : la flexibilité.

## V. APPROCHE NORMATIVE DE LA FLEXIBILITE<sup>1</sup>

Nous avons défini la flexibilité comme résultant d'une « remise en question des résultats produits par les processus automatiques ». Ces processus définissent notamment des « valeurs par défaut » que prennent les variables sous-spécifiées. L'exemple typique est « Titi est un oiseau ». Par défaut, nous supposons que Titi vole. Si l'on apprend de Titi est une autruche, cette conclusion est annulée : le raisonnement est non monotone (i.e., le nombre de conclusions n'est pas une fonction monotone du nombre de prémisses). Chercher un cadre normatif de la flexibilité conduit donc à se tourner vers les cadres formels du raisonnement non monotone.

### V.1 Un modèle formel du raisonnement non monotone

Les connaissances révisables sont généralement exprimables sous formes de règles plausibles, dénotées ici par le symbole «  $\sim$  ». L'expression «  $\alpha \sim \beta$  » exprime « si  $\alpha$  alors plausiblement  $\beta$  ». Le cadre normatif le plus consensuel en ce qui concerne le raisonnement non monotone est le « système  $P$  » (Kraus et al., 1990), qui inclut six propriétés :

1.  $\alpha \sim \alpha$  (Réflexivité)
2.  $\alpha \wedge \beta \sim \gamma, \alpha \sim \beta \Rightarrow \alpha \sim \gamma$  (Coupure ou CUT)  
qui se lit « si  $\alpha \wedge \beta$  implique plausiblement  $\gamma$ , et si  $\alpha$  implique plausiblement  $\beta$ , alors  $\alpha$  implique plausiblement  $\gamma$  ».

3.  $\alpha \sim \beta, \alpha \sim \gamma \Rightarrow \alpha \wedge \beta \sim \gamma$  (Monotonie prudente: CM)
4.  $\models \alpha \Leftrightarrow \beta, \alpha \sim \gamma \Rightarrow \beta \sim \gamma$  (Équivalence à gauche: LLE)

où «  $\models \alpha$  » s'interprète comme « tous les modèles du monde où  $\alpha$  est vrai ».

5.  $\models \alpha \Rightarrow \beta, \gamma \sim \alpha \Rightarrow \gamma \sim \beta$  (affaiblissement à droite: RW)
6.  $\alpha \sim \gamma, \beta \sim \gamma \Rightarrow \alpha \vee \beta \sim \gamma$  (OR)

Le système dit de « clôture rationnelle » inclut les six propriétés de  $P$ , plus la « monotonie rationnelle », (Makinson, 1989) :

7.  $\alpha \sim \gamma, \neg(\alpha \sim \neg\beta) \Rightarrow \alpha \wedge \beta \sim \gamma$  (Rational Monotony: RM)

Enfin, une propriété intéressante qui dérive des axiomes du system  $P$  est le AND.

8.  $\alpha \sim \beta, \alpha \sim \gamma \Rightarrow \alpha \sim \beta \wedge \gamma$  (AND)

### V.2 Théorie des possibilités et raisonnement non monotone

Une sémantique simple pour les règles plausibles a été proposée par Benferhat, Dubois et Prade (1992), et Dubois et Prade (1995) dans le cadre de la théorie des possibilités. Selon cette sémantique, chaque assertion  $\alpha \sim \beta$  peut être vue comme une contrainte exprimant qu'une situation où les énoncés  $\alpha$  et  $\beta$  sont tous deux vrais est plus possible qu'une situation où  $\alpha$  est vraie et  $\beta$  fausse. Formellement,  $\alpha \sim \beta$  est une

<sup>1</sup> Cette section est basée sur Da Silva Neves, Bonnefon, & Raufaste (2002).

« règle plausible » ssi  $\Pi(\alpha \wedge \beta) > \Pi(\alpha \wedge \neg \beta)$ . La question est de déterminer si, sans le savoir, l'humain se conforme peu ou prou aux propriétés du système  $P$ . Nous ne considérons pas ici ces propriétés comme des règles d'inférence directes mais comme des propriétés générales émergentes de la structure du système cognitif. Aussi, plutôt que d'utiliser les termes « prémisses » et « conclusion » d'une propriété, nous les désignerons sous le vocable de partie gauche (LP) et partie droite (RP). Nous cherchons à tester si l'on peut repérer des patterns d'association similaires à ce que produirait une machinerie fonctionnant sur la base du système  $P$ . Si l'inférence des participants tend à se conformer aux propriétés utilisées, les participants qui endossent l'ensemble des règles plausibles de la partie gauche d'une propriété (« conditions ») endosseront aussi la règle « conclusion » de la partie droite de cette même propriété.

### V.3 Méthode

La méthodologie choisie consiste à obtenir des participants qu'ils évaluent indépendamment la plausibilité de chacune des règles impliquées dans les propriétés testées, et à évaluer si l'endossement de LP est préférentiellement associé à l'endossement de RP. L'information permettant de tester une association entre deux variables peut se résumer dans un tableau de contingence. Le degré d'association entre RP et LP est calculé à partir des fréquences dans les cellules du tableau et traduit la dominance des cellules A et D (cohérentes avec la relation) sur les cellules B et C (qui vont contre).

	RP	¬RP
LP	A	B
¬LP	C	D

**Tableau II.6: Table de contingence pour le test d'association entre la partie gauche (LP) et la partie droite (RP) d'une propriété**

Les relations à tester sont toutes de la forme «  $RP \Rightarrow LP$  ». Le degré d'association n'est donc pas suffisant pour conclure car l'association peut être due à l'inférence inverse «  $RP \Rightarrow LP$  ». Le problème, en admettant que l'on trouve bien une association significative, est de faire la part de l'association qui réfute «  $RP \Rightarrow LP$  » de celle qui réfute «  $LP \Rightarrow RP$  ». Mettons en relation les cellules du tableau de contingence avec la table de vérité de l'implication matérielle (Tableau II.7). LP étant endossée par les participants, «  $LP \Rightarrow RP$  » est corroborée si RP est significativement endossée plutôt que non endossée (i.e.,  $A > B$ )<sup>1</sup>. On voit aussi que la case B réfute «  $LP \Rightarrow RP$  » tandis que la case C réfute «  $RP \Rightarrow LP$  ». Ainsi une propriété est corroborée par une fréquence d'observations dans la case C supérieure à la case B ( $C > B$ ).

<sup>1</sup> Cela revient certes à tester une implication matérielle comme une règle plausible, mais c'est rendu nécessaire par la présence d'une composante stochastique au cœur de la cognition humaine.



Cellules	LP	RP	LP $\Rightarrow$ RP	RP $\Rightarrow$ LP
A	1	1	1	1
B	1	0	0	1
C	0	1	1	0
D	0	0	1	1

**Tableau II.7: Table de vérité de l'implication matérielle et tableau de contingence**

Au total une propriété est vérifiée si le pattern d'observations possède trois composantes : (1) l'association LP-RP est significative ; (2)  $A > B$  ; (3)  $C > B$ .

**Construction du matériel.** Sept propriétés du système  $P$  ont été testées. Un ensemble de règles respectant la syntaxe des règles de la partie gauche des propriétés à tester a d'abord été conçu sur une base intuitive. La première chose était de contrôler si les règles de LP et RP étaient plausibles. C'est le cas si  $I\pi(\alpha \wedge \beta) > I\pi(\alpha \wedge \neg \beta)$ . Une pré-expérience a permis de sélectionner un ensemble de règles plausibles : 45 étudiants de psychologie ont fourni, pour chaque règle présélectionnée, deux mesures de possibilité :  $I\pi(\alpha \wedge \beta)$  et  $I\pi(\alpha \wedge \neg \beta)$ . Par exemple, « à quel degré jugez-vous possible que Simon A soit végétarien et aime les corridas ? » ou « à quel degré jugez-vous possible que Simon A soit végétarien et n'aime pas les corridas ? ». Ont été retenues les règles endossées par certains sujets et pas par d'autres. Chaque propriété impliquait trois règles : deux dans LP et une dans RP. Les 14 règles de RP ont été sélectionnées à partir de la pré-expérience. Les 7 règles de RP ont été dérivées d'après les propriétés cibles. Le statut de ces 21 règles pour chaque participant a été testé au moyen de deux questions, soit 42 questions en tout.

**Participants.** Ont participé 88 étudiants de 1ère année de l'université Toulouse-II, tous ayant le français comme langue maternelle et n'ayant reçu aucun entraînement formel à la logique. Aucun n'avait participé à la pré-expérience de sélection du matériel.

**Analyse.** Le degré d'association entre les endossements de LP et RP a été calculé au moyen d'un coefficient Phi ( $\phi$ ) et testé statistiquement par  $\chi^2$ . Les différences deux à deux entre cellules ont été testées par  $\chi^2$ .

## V.4 Résultats

### Au niveau du système de règles

Nous avons compté combien de violations ont été réalisées par chaque participant, puis reconstruit la distribution des effectifs en fonction du nombre d'erreurs commises (Tableau II.8). Une violation stricte s'observe quand LP est endossée et pas RP. 46.6% de participants n'ont commis aucune violation sur 7 règles testées, et 84.1% ont commis au plus une violation. Ce résultat suggère que la plupart des participants organisent leurs connaissances d'une manière compatible avec le système  $P$ .

Nombre brut de violations (en %age de règle violées)	0 (0%)	1 (14%)	2 (29%)	3 (43%)	4 (57%)
%age de participants	47%	37%	14%	1%	1%
%age cumulé de participants	47%	84%	98	99	100

**Tableau II.8 : %age de participants selon le nombre de violations ( $N = 88$ ).**

*Au niveau de règles individuelles*

Bien que peu de violations de LLE aient été faites, aucun participant n'en a endossé à la fois LP et RP. Sur l'ensemble des propriétés du système  $P$  testées ici, les violations strictes (i.e., endossement de LP mais pas de RP) représentaient 9.0 % (8.0% sans LLE). L'endossement de LP et RP représentait 45.7 % (45.7% sans LLE). Le non endossement simultané de RP et LP représentait 25.9 % (19.2 % sans LLE). Le non endossement de LP avec endossement de RP représentait 19.4 % (18.4 % sans LLE). Les taux d'endossement de LP rejoignaient ceux de la pré-expérience. Les associations RP-LP étaient significatives ( $p_s < .05$ ) pour toutes les propriétés sauf LLE, quel que soit le matériel utilisé (Tableau II.8).

Étant donné ces résultats et la règle de décision vue plus haut, on conclut que: CM, RW, OR, et AND sont directement corroborées par les résultats. Le test de CUT est plus problématique car si cette propriété est corroborée dans la version 2 du matériel, dans la version 1 l'association s'explique mieux par l'implication  $RP \Rightarrow LP$ . Enfin, LLE n'a pu être testée car aucun sujet n'a endossé à la fois RP et LP. Une écrasante majorité de sujets n'a même endossé aucune des deux parties de la propriété.

Propriété	Effectif cellule				Assoc. LP-RP $\phi$	A > B $\chi^2(1, 88)$	C > B $\chi^2(1, 88)$
	A	B	C	D			
CUT 1	2	27	6	31	.32**	ns	***
	4						
2	5	3	2	6	.27*	50.6***	12.6***
	9		0				
CM 1	5	4	1	7	.29**	48.0***	8.9**
	9		8				
2	2	4	3	28	.31**	14.3***	21.8***
	4		2				
RW	3	11	2	17	.22*	14.8***	3.7*
	8		2				
LLE	0	8	8	72	--	--	--
OR	5	2	2	16	.49***	44.3***	14.7***
	0		0				
RM	4	10	1	16	.36***	24.0***	ns
	7		5				
AND	6	2	1	12	.55***	55.3***	8.1***
	1		3				

**Tableau II.9: Test des associations entre LP et RP ( $N = 88$ ).**

\*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p \leq .001$  ; ns non significatif

Les cellules grisées sont celles qui ne sont pas compatibles avec les données.

Le test de LLE n'a aucune pertinence car les règles n'en ont pas été endossées.

CUT et CM pouvant être testées avec le même matériel, 2 tests ont été réalisés pour chacune.

## V.5 Discussion

L'objectif de cette expérience était de voir si l'inférence humaine tend à être compatible avec les postulats de rationalité du raisonnement non monotone (System P plus monotonie rationnelle). Au niveau global, il est apparu que les sujets produisaient peu de violations des règles du système. Au niveau des règles individuelles, nous avons trouvé que toutes les propriétés testées sauf CUT (pour une version du matériel) et LLE (qui n'a pu être testée) étaient corroborées par les jugements des participants.

La présente contribution constituait, à notre connaissance, le tout premier test expérimental de la plausibilité psychologique du système *P*. Depuis, d'autres travaux ont été réalisés qui ont confirmé ces premiers résultats et corroboré les règles LLE et CUT pour lesquelles nous avons des problèmes de matériel (e.g., Benferhat et al., sous presse). Ce travail présenté ici n'a clos pas la question, mais il l'a ouverte.

## VI. DISCUSSION SUR L'APPROCHE NORMATIVE DES VALEURS DE RATIONALITE

Pris ensemble, ces résultats donnent une image où le traitement humain de l'incertitude serait réalisé par des algorithmes satisfaisants, qualitatifs par essence, et de ce fait plus compatibles avec la théorie des possibilités qu'avec la théorie des probabilités. Il ne s'agit pas de dire que la théorie des probabilités doive être complètement abandonnée. Certains processus du système cognitif humain sont extrêmement bien modélisés par une approche bayésienne, particulièrement certains processus automatiques et inconscients (cf. Anderson & Lebiere, 1998). Néanmoins, le calcul numérique conscient est coûteux et il est improbable qu'un humain utilise spontanément de tels algorithmes dans la vie quotidienne. Au contraire, la théorie des possibilités utilise seulement des opérations de type min, max et renversement d'ordre, opérations peu coûteuses pour le système cognitif.

Nous avons travaillé ici sur les valeurs de pertinence et flexibilité. Reste la question de la synchronisation et de la coordination. La synchronisation renvoie à la gestion de la dynamique des situations, domaine extrêmement riche qu'il conviendra d'explorer en temps utiles. La coordination suppose l'interaction sociale. Il est donc possible qu'une approche normative de cette valeur n'existe tout simplement pas !

\* \* \*

Dans les deux premiers chapitres, nous avons montré qu'il est possible de mettre en relation les valeurs de rationalité avec les deux facettes du niveau rationnel en psychologie: la plausibilité psychologique des théories normatives et l'étude de l'erreur humaine. Les quatre prochains chapitres seront tournés vers la modélisation des processus cognitifs qui gèrent les valeurs de rationalité.

## CHAPITRE III : OPTIMISATION DE LA RICHESSE <sup>1</sup>

Puisque la qualité des informations sélectionnées fait l'objet de la valeur « pertinence », optimiser la richesse consiste simplement à maximiser la quantité d'informations prises en compte. Toutefois, il existe une limite liée à la capacité de la mémoire de travail. Optimiser la richesse revient donc à utiliser les propriétés du système cognitif pour contourner cette limitation afin de maximiser la quantité brute d'informations prises en compte. La question qui se pose alors est la suivante : comment une structuration particulière des connaissances permet-elle de dépasser les limites de la mémoire de travail ? Nous examinerons divers types de réponses à cette question ainsi que le rôle de l'expérience quotidienne dans cette optimisation.

### I. MODELISATION DE LA RICHESSE

#### I.1 La richesse expliquée par les processus mémoriels

##### Chunking et traitement perceptuel

La mémoire de travail humaine ne peut gérer que quelques unités indépendantes. Lorsque les psychologues commencèrent à s'intéresser aux limitations du système cognitif, ils découvrirent qu'on pouvait augmenter la quantité d'informations traitées en groupant les éléments disjoints de manière à former un petit nombre d'unités plus complexes. La structuration des informations en mémoire à long terme permet ainsi de constituer des ensembles de traits récupérables et manipulables en blocs, appelés *chunks* ou *schémas*. Chase et Simon ont montré qu'un maître d'échecs peut se souvenir d'une position composée de 16 à 20 pièces. A partir de là, "si un maître d'échecs peut se rappeler de la position de 20 pièces ou plus, mais qu'il y a la place pour environ seulement cinq chunks en mémoire à court terme, alors chaque chunk doit être composé de quatre ou cinq pièces organisées en une seule structure relationnelle" (1973a, p. 56). Divers travaux ont montré que la mémoire de travail (MT) des experts est soulagée tout simplement parce que ces sujets *perçoivent* globalement la structure fondamentale de la situation, et peuvent donc maintenir en mémoire de travail de grandes structures intégrées plutôt que de petites entités isolées (Chase & Simon, 1973a, 1973b). Les novices perçoivent des structures plus petites, moins articulées. Les auteurs montrent expérimentalement que le nombre et la taille des structures sont en relation avec le niveau d'habileté, et que le nombre des structures maintenues en MT à un instant donné est compatible avec les études classiques sur la taille de l'empan (nombre d'éléments isolés que peut gérer la mémoire à court terme). En ce qui concerne le diagnostic médical, Lesgold et al. (1988) ont trouvé que la représentation

---

<sup>1</sup> Ce chapitre reprend les concepts développés dans plusieurs de nos travaux (Raufaste, 2001 ; Raufaste, Eyrolle & Mariné, 1998 ; Raufaste & Eyrolle, 1998 ; Raufaste, Verderi-Raufaste & Eyrolle, 1998)

construite par les radiologues experts était fondée sur des unités organisées tandis que les novices avaient plus de mal à coordonner les informations. Dans le diagnostic ergonomique, Amergé et Mariné (1992) ont montré que cette difficulté des débutants à articuler les éléments de la situation en une structure d'ensemble aboutissait à une représentation partielle et fragmentée. Il nous faut donc comprendre pourquoi un expert perçoit directement une situation structurée tandis que le novice ne la perçoit pas.

Duncan et Humphreys (1989) ont observé que plus des éléments sont perçus comme reliés et plus la tendance à les sélectionner ou à les rejeter ensemble est forte. L'association en mémoire détermine donc le découpage au niveau perceptif.

Dans le domaine des échecs, Freyhof et al. (1992) ont trouvé que la plus grande taille des chunks des experts dépendait de la typicité des problèmes présentés : les positions les plus typiques produisaient les chunks les plus cohérents et contenant le plus d'éléments d'information. Les problèmes typiques donnaient aussi les plus grandes différences entre experts et novices.

#### Mémoire de travail à long terme et structures de récupération

De façon plus générale, la plupart des auteurs actuels admettent l'idée que la mémoire de travail englobe la partie activée de la mémoire à long terme (Anderson, 1983, 1993; Anderson & Lebiere, 1998 ; Cantor & Engle, 1993, Ericsson & Kintsch, 1995; Gobet, 1998; Kintsch, 1998). En outre, Chase et Ericsson (1981), Ericsson et Staszewski (1991) ainsi que Ericsson et Kintsch (1995) ont ajouté à la théorie initiale des chunks l'idée que la gestion des ressources mémorielles considérables qu'implique l'expertise nécessite le développement de *structures de récupération* spécifiques au domaine d'expertise considéré. Ces structures de récupération sont des éléments acquis délibérément et destinés à l'indexation des chunks. Les structures de récupération agissent comme des indices pour la récupération. Elles facilitent ainsi à la fois l'encodage en mémoire à long terme (MLT) et la récupération des chunks. En accélérant l'encodage en MLT, elles soulagent la mémoire à court terme. Ainsi, la plus grande richesse des représentations des experts résulterait d'une meilleure habileté à mobiliser la mémoire à long terme. Les structures de récupération sont, elles aussi, acquises par expérience.

#### Récupération par les instances

Une approche apparemment très différente est celle d'une récupération par "instances" (Logan, 1988; 1992; Logan & Etherton, 1994). Dans cette conception, la récupération en mémoire porterait non pas sur la mémoire sémantique mais sur la mémoire épisodique. Face à un nouveau cas, des processus automatiques constitueraient une image globale à partir des cas similaires stockés en mémoire. Quoique d'apparence très différente, cette approche repose sur des mécanismes fondamentalement très proches et certaines architectures cognitives sont capable d'implémenter sans difficulté les deux types d'accès (e.g. Anderson & Matessa, 1998).

### La richesse expliquée par les raisonnements

Malgré son fort pouvoir explicatif, le modèle du traitement perceptif se heurte au fait que l'expertise ne peut se réduire à la simple reconnaissance de structures préalablement mémorisées.

L'expertise consiste non seulement en la possession de savoirs déclaratifs mais aussi de routines automatisées stockées en mémoire procédurale. Les habiletés complexes se construisent par intégration des habiletés élémentaires en unités plus larges qui seront elles-mêmes intégrées etc. L'exécution de l'habileté complexe est déclenchée par des tâches finalisées par des buts de plus haut niveau (e.g., Anderson, 1983).

L'expert peut aussi enrichir sa représentation en raisonnant et en guidant l'exploration de sa mémoire par des processus délibérés. Plusieurs simulations de la cognition humaine (ACT-R, EPAM, etc.) permettent de modéliser à la fois la reconnaissance automatique et la recherche délibérée en mémoire. Celle-ci peut être réalisée, par exemple, au moyen d'un processus itératif et délibéré d'instanciation des emplacements libres de structures de récupération.

Si la richesse résulte d'une structuration particulière des mémoires à long terme, déclarative et procédurale. Il reste à expliquer comment cette structuration est acquise au niveau de la pratique quotidienne et comment cette acquisition rend compte des différences de performance entre experts et novices.

## **I.2 Effet de l'acquisition d'expertise sur la richesse**

L'acquisition d'expertise se conçoit habituellement à deux niveaux : l'apprentissage formel, académique, et l'apprentissage informel qui résulte de la pratique quotidienne. Dans les domaines complexes comme le diagnostic médical, nul ne peut espérer devenir expert sans la conjugaison de ces deux modes d'amélioration de la performance. Nous traiterons dans un premier temps de la modélisation de l'apprentissage déclaratif formel, puis dans un second temps de l'apprentissage qu'offre la pratique quotidienne. Nous terminerons par l'évocation de la question de la pratique délibérée.

Dans la plupart des domaines d'expertise, les effets de l'expérience ne peuvent s'expliquer par le seul jeu de processus subsymboliques car les savoir-faire viennent se greffer sur une base existante de connaissances théoriques acquises explicitement. Nous avons défini trois nouveaux concepts.

Les schémas explicitement acquis au moyen d'un enseignement universitaire sont nommés *schémas canoniques*. Les relations entre ces schémas qui ont été explicitement acquises au moyen d'un enseignement théorique sont nommées *liens canoniques*. Par exemple, les concepts "foyer infectieux" et "état fébrile" sont des concepts médicaux acquis à la faculté. Ils constituent donc des schémas canoniques. Parallèlement, le jeune médecin aura appris que le foyer infectieux provoque généralement un état fébrile : une relation sera établie entre ces deux concepts, un lien cano-

nique. La base de connaissances du novice est donc décrite comme un réseau de schémas et de liens canoniques.

Comment les acquisitions subsymboliques ultérieures sont-elles réalisées ? Frick et Lee (1995) ont démontré que l'apprentissage implicite d'un concept peut survenir par simple exposition à des stimuli qui constituent des exemples de ce concept. Chaque fois qu'un futur médecin établit l'association entre une combinaison de traits et le diagnostic correct donné par l'enseignant, une association subsymbolique est créée ou renforcée au sein du réseau sémantique. Dagenbach et al. (1990) ont d'ailleurs montré que la répétition extensive d'associations en mémoire épisodique peut conduire à des ajouts en mémoire sémantique.

Au regard de l'acquisition d'expertise, nous suggérons qu'en dépit de l'existence de schémas et de liens canoniques dans le réseau sémantique initial, le faible potentiel de diffusion d'activation ne permet initialement pas au novice d'accéder facilement aux concepts (Rabinowitz & Chi, 1987) nécessaires pour établir un diagnostic pertinent : En l'absence des renforcements liés à l'expérience, la faible force des liens canoniques n'autorise généralement qu'un accès délibéré aux schémas canoniques.

En d'autres termes, avant qu'une expérience suffisante ait été accumulée, seule la réflexion délibérée, consciente, peut permettre l'accès aux concepts théoriques. Pour reprendre l'explication classique, le niveau d'activation d'un nœud dans un réseau est la somme d'une activation de base (qui dépend de la fréquence d'activation du nœud) et d'une activation courante reçue par le contexte du nœud, c'est-à-dire par les autres nœuds. Les schémas fréquemment utilisés ont une activation initiale plus élevée, ce qui augmente leur probabilité d'atteindre le seuil d'activation nécessaire pour l'accès à la conscience ou "*seuil focal*". A chaque utilisation d'un lien, celui-ci est renforcé, c'est-à-dire qu'il transmet plus d'activation et plus facilement. Par conséquent, les schémas qui reçoivent de l'activation par un lien renforcé ont une meilleure probabilité de franchir le seuil focal. Le novice ne dispose pas encore de ces liens renforcés, mais il peut compenser cette faible disponibilité des concepts en plaçant délibérément son attention dessus. À terme, par l'effet de mécanismes associatifs classiques, l'accessibilité des connaissances pourra être renforcée.

En tant que tels, les mécanismes associatifs produisent deux types de liens qui ne résultent pas du seul apprentissage explicite : les « *liens canoniques activables* » et les liens opérationnels. Les liens canoniques activables sont des liens canoniques qui préexistaient dans le réseau sémantique mais ont été renforcés par l'expérience. Ainsi, le jeune médecin a appris pendant ses études qu'un foyer infectieux produit un état fébrile. Avec l'expérience, il aura pu constater que non seulement cette connaissance se vérifie souvent, mais encore qu'elle constitue un élément important pour porter le diagnostic de « foyer infectieux ». Si bien que, si le patient se plaint de fièvre, le médecin expérimenté pensera automatiquement « infection » car l'activation du nœud « fièvre » diffusera jusqu'au nœud « infection ».

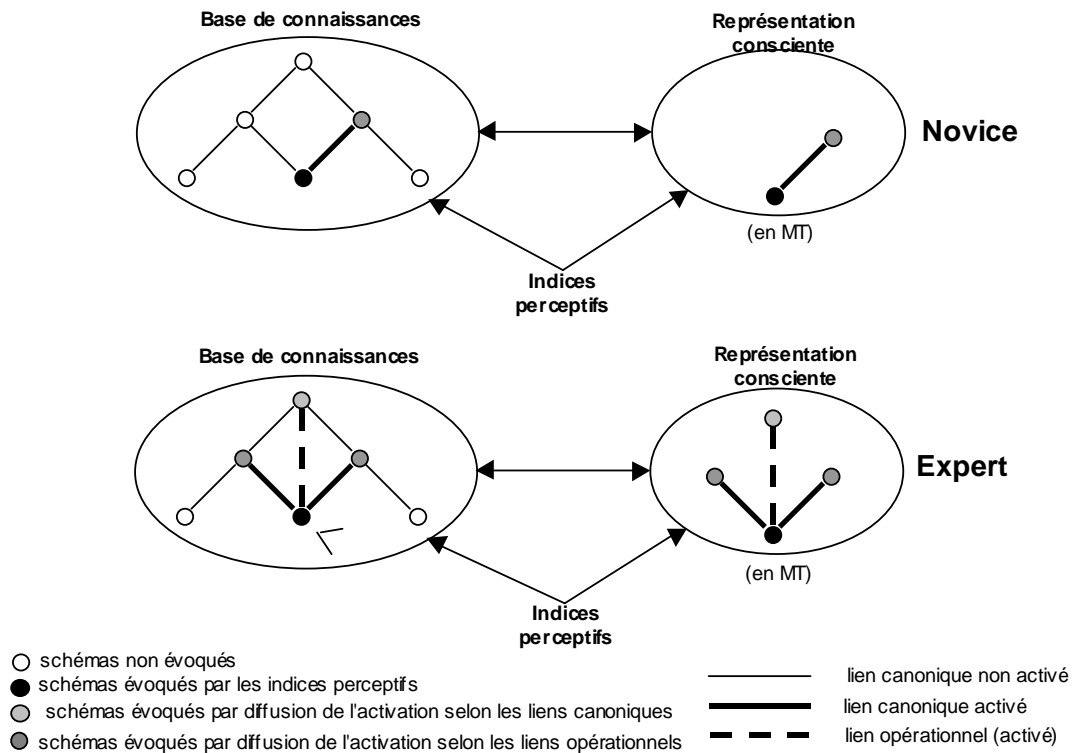
On peut définir une distance sémantique entre deux concepts en comptant simplement le nombre de noeuds qui les séparent, un peu à la façon dont on compte les degrés de parenté au sein d'une famille. Cette approche de la distance sémantique a été testée dans les premières études sur les réseaux sémantiques (Collins & Quillian, 1969). Toutefois, les travaux sur l'expertise ont mis en évidence la possibilité pour les experts de faire des liens extrêmement rapides entre des concepts distants puisque reliant des traits de surface (symptômes) à des diagnostics (connaissances profondes). D'où l'hypothèse de l'existence d'un nouveau type de liens permettant de réduire la distance sémantique après apprentissage subsymbolique : Les « *liens opérationnels* » sont des relations directes entre les concepts canoniques qui normalement ne sont pas directement connectés. Ces relations, qui court-circuitent les liens canoniques, sont créées par le seul effet de mécanismes subsymboliques d'association. Exemple : Un radiologue expérimenté voit un héli-thorax opaque (sans disposer de l'histoire du patient). Il cherche alors des métastases. En toute rigueur, il n'y a pas de relation directe entre les deux concepts (héli-thorax opaque – métastases). En pratique, toutefois, le radiologue a été confronté à des cas d'ablation de poumon suite à des cancers. Il déclenche alors la recherche de métastases dès qu'il voit une pneumonectomie.

Quel est le rôle des liens canoniques et opérationnels ? Une simulation de Rabinowitz et McAuley (1990) a montré que les variations dans la force d'activation entre les concepts déterminent la quantité d'information récupérable. En nous basant sur ces résultats, nous pouvons faire l'hypothèse que les liens canoniques activables et les liens opérationnels ont pour effet de rendre le savoir canonique accessible et disponible pour les raisonnements délibérés. Ainsi peut s'expliquer simplement la présence d'un plus grand nombre d'éléments dans la représentation de l'expert puisque celui-ci possède plus de liens canoniques activables et de liens opérationnels (Figure III.1).

Si les liens canoniques sont subsymboliquement renforcés par le simple fait qu'ils sont utilisés, il en va de même pour les connaissances procédurales. La même explication s'applique donc pour la facilité avec laquelle les règles de raisonnement se déclenchent. Selon la théorie d'Anderson, les règles les plus activées ont tendance à se déclencher plus vite. Pendant un même intervalle de temps, l'expert pourra donc déclencher plus de règles. D'où, encore une fois, une représentation plus riche.

Nous disposons donc d'un modèle relativement simple capable d'expliquer à la fois comment la valeur richesse est maximisée pendant le diagnostic (effet de l'intégration), et comment cette maximisation est améliorée par l'expérience.





**Figure III.1 : Origine de la richesse de la représentation**

Dans cet exemple, chez le novice comme chez l'expert, un seul schéma est directement activé par les indices perceptifs. Chez le novice (en haut), un seul lien canonique a été rendu activable par l'expérience et aucun lien opérationnel n'a encore été généré. Au total, un seul schéma canonique supplémentaire reçoit assez d'activation pour dépasser le seuil focal et faire ainsi partie de la représentation consciente. Chez l'expert, deux liens canoniques sont devenus activables et un lien opérationnel a ensuite été créé. De cette façon, à partir du même schéma canonique initial, trois nouveaux schémas canoniques ont été suffisamment activés pour franchir le seuil focal et s'intégrer dans la représentation consciente. Finalement, la représentation consciente de l'expert est plus riche que celle du novice.

## II. TEST EMPIRIQUE DU MODELE DE RICHESSE

### Méthode

Des radiologues de différents niveaux d'expertise ont produit des diagnostics à partir de clichés très complexes choisis pour mettre en défaut les automatismes.

Les participants étaient 8 novices (internes en 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année), 6 intermédiaires (internes en 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> année) et 8 experts. Les experts se décomposaient en deux sous-groupes, 4 experts de base (praticiens de ville ayant plus de 6 ans d'expérience) et 4 super-experts (praticiens hospitalo-universitaires ayant 10 ans d'expérience et une renommée internationale dans leur domaine).

Nous avons enregistré les verbalisations des sujets pendant le raisonnement initial, ainsi que les explications produites par les sujets à l'écoute de l'enregistrement de leurs verbalisations initiales. A partir de ces verbalisations, nous avons reconstruit les réseaux sémantiques impliqués dans les représentations des sujets.

Pour opérationnaliser la richesse, nous avons simplement compté le nombre de schémas et de liens de chaque type. En outre, le nombre de schémas et de liens ont été additionnés dans une nouvelle variable appelée *richesse*. En d'autres termes, une représentation a été considérée d'autant plus riche qu'elle contenait de schémas et de liens.

### Résultats

Conformément à l'idée que les experts maximisent la richesse de leurs représentations, les résultats montrent sans ambiguïté que plus les sujets sont expérimentés, et plus la représentation est riche (voir Tableau III.1). Cette richesse se manifeste aussi bien au niveau du nombre de schémas canoniques cités par les sujets qu'au niveau des nombres de liens (canoniques ou opérationnels) qui apparaissent dans les réseaux entre les schémas (toutes les relations sont significatives à  $p < .05$ ).

	Novices Moyenne (SD)	Intermédiaires Moyenne (SD)	Experts de Base Moyenne (SD)	Super-experts Moyenne (SD)
Nbre de liens canoniques	17.3 (9.2)	22.2 (6.4)	33.75 (12.7)	42.5 (11.7)
Nbre de liens opérationnels	0.25 (0.4)	0.5 (0.8)	1.25 (0.6)	2.125 (0.9)
Nbre de schémas canoniques	21.4 (11.1)	22.8 (7.5)	32.3 (9.5)	37.8 (8.0)

**Tableau III.1 : Nombres de liens et de schémas activés, selon l'expérience**

D'après notre modèle, l'expérience détermine à la fois la création de liens opérationnels et le renforcement des liens canoniques. De ce fait on peut s'attendre à une quasi absence de liens opérationnels chez les novices, puis au fur et à mesure que l'expérience s'accroît, à l'apparition d'une corrélation entre le nombre des liens canoniques et opérationnels. Cette hypothèse est vérifiée : La différence des corrélations chez les experts et chez les novices est significative ( $p < .03$ ). Les données des experts de base et super-experts ont été agrégées en raison des petits effectifs.

Comme on pouvait s'y attendre par le choix de clichés « pièges », une corrélation nette a pu être observée entre la richesse de la représentation et la justesse ( $r_{(20)} = .73$ ;  $p < .001$ ). Puisque la justesse semblait s'accroître avec l'expérience, nous avons examiné l'effet de l'expérience sur la justesse en contrôlant la richesse. Nous avons alors trouvé que la justesse était effectivement liée à la richesse ( $F_{(3,18)} = 30.06$ ;  $p < .001$ ). L'expérience seule n'était pas significative ( $F_{(3,18)} = 2.66$ ;  $p = .081$ ).

### Discussion

Les résultats corroborent donc sans problème notre approche de la richesse. C'est cependant sans grande surprise car les mécanismes de la richesse commencent à être bien connus dans la littérature en sciences cognitives. Un modèle en réseau comme le notre peut aussi expliquer d'autres effets classiques de la littérature. Nous avons postulé que les schémas canoniques des novices ne reçoivent d'activation que lorsque ces sujets placent délibérément leur attention dessus. Par conséquent peu de schémas auront initialement une activation élevée. Avec l'acquisition des liens canoniques activables et des liens opérationnels, la représentation sera plus profonde du fait que des concepts ayant un plus haut niveau d'abstraction pourront s'inclure : les représentations des experts seront plus profondes que celles des novices (e.g., Chi et al., 1981).

On pourrait cependant discuter l'intérêt d'introduire les concepts de schéma canonique, de lien canonique, et de liens opérationnels. La parcimonie voudrait que l'on s'en passe dans la mesure où ces schémas et liens sont bien modélisés par le cas général des schémas et des liens. Et que d'autre part, les liens opérationnels pourraient s'interpréter comme des structures de récupérations (au sens de la théorie de la LT-WM) minimales. Ce qui a motivé notre introduction de cette distinction est la volonté d'explicitier le lien entre le niveau descriptif et le niveau normatif. Par « canonique » nous renvoyons à un état de l'art, à un enseignement universitaire, donc à une norme sociale. Par « opérationnel », nous renvoyons à quelque chose d'acquis « sur le tas », donc non nécessairement normatif. Pour l'instant nous n'avons pas utilisé ce petit raffinement conceptuel mais il permet potentiellement de capturer des phénomènes irréductibles au seul niveau descriptif, ce que ne permettrait pas une conception où l'on se contente de parler de schémas et de liens sans leur accorder un statut du point de vue de la normativité. Ainsi, dans la mesure où notre objectif est de théoriser l'optimisation, donc l'interaction entre des mécanismes descriptifs et des règles normatives, cette distinction paraît potentiellement utile. Pour ne prendre qu'un exemple, ne pas posséder un schéma canonique pour un expert est une source directe de faute professionnelle judiciairement condamnable alors que les éléments opérationnels vont surtout faire la différence entre le bon et le moins bon expert.

\* \* \*

Tournons nous maintenant vers la valeur de pertinence. Nous allons aborder cette dernière en deux chapitres correspondant aux deux sources principales du calcul de pertinence que nous avons pu identifier.

\_ La première est constitutive des réseaux associationnistes : l'espérance d'utilité  $y$  est encodée directement par le jeu des renforcements qui viennent modifier la matrice des poids (i.e., la force des liens) et les niveaux d'activation de base des concepts. Le chapitre IV exposera notre approche de cette source de pertinence.

\_ La seconde source est liée aux évaluations réalisées par le système affectif. Celui-ci n'étant pas encore incorporé à notre modèle, nous présenterons dans le chapitre V nos recherches concernant la structure de ces évaluations affectives.

## **CHAPITRE IV : OPTIMISATION DE LA PERTINENCE**

### **(PARTIE 1 : APPROCHE EN RESEAUX<sup>1</sup>)**

Dawes (1982) a constaté que si l'on entrait dans un modèle mathématique les éléments pris en compte par les médecins, alors le pronostic était le meilleur possible : les experts excellent à repérer l'information pertinente. De fait, Custers et al. (1996) ont montré que la capacité à sélectionner les faits et hypothèses appropriés constitue l'un des paramètres de l'acquisition d'expertise médicale. Cela étant, il arrive que soient négligées des informations pertinentes, ou prises en compte des informations qui ne le sont pas (Doherty et al., 1981). La question de la pertinence présente donc deux sous-problèmes : Déterminer comment un expert dans une situation donnée détecte quels sont les éléments (faits ou hypothèses) pertinents, et comprendre comment se développent les mécanismes cognitifs permettant aux experts d'être généralement plus pertinents que les novices. Après une brève revue des processus candidats, nous montrerons comment les mécanismes associationnistes de notre modèle théorique peut s'appliquer au problème de la génération de pertinence.

#### **I. PROCESSUS DE DETECTION DES ELEMENTS PERTINENTS**

Cette section résume très brièvement la littérature sur les mécanismes susceptibles de maximiser la valeur de pertinence. On part des processus très automatisés vers les processus très délibérés en passant par les traitements heuristiques.

##### **I.1 Détection de la pertinence par des processus automatiques**

Pour Lesgold et al. (1981), la pertinence des experts en radiologie proviendrait de leur capacité à reconnaître directement la partie normale de l'anatomie du patient, par des processus perceptuels. Ainsi, par différence avec une anatomie normale, les indices suspects ressortiraient du fond. La rapidité des traitements perceptuels est rendue possible par une architecture parallèle distribuée car le parallélisme des traitements dans un réseau conduit les solutions locales à se contraindre mutuellement les unes les autres au cours du processus de calcul, ce qui évite le calcul de solutions inutiles. De plus, les solutions étant traitées parallèlement, la mobilisation des ressources limitées du système attentionnel est minimisée, ce qui se traduit par un faible coût cognitif.

Dans les modèles connexionnistes, seuls les schémas les plus activés ont une chance de contrôler le comportement. Quand un indice en MT présente des caractéristiques communes avec celles d'un schéma présent en MLT, cela accroît la quantité d'activation associée à ce schéma. Quand l'activation associée à un schéma atteint un

---

<sup>1</sup> Ce chapitre est basé sur l'article Raufaste, Eyrolle, & Mariné (1998).

certain seuil, elle se diffuse aux schémas connexes. Balota et Paul (1996) ont montré que les activations reçues par un schéma en provenance d'autres schémas sémantiquement reliés se cumulent de façon additive. Et puisque les schémas correspondant à la solution correcte ont en général plus de chance de correspondre avec des indices présents dans la situation, ils ont aussi de bonnes chances d'avoir un degré d'activation final plus élevé que les schémas non pertinents. Selon Anderson, « l'activation mesure les chances qu'un élément particulier de connaissance aura d'être utile à un moment donné. C'est une heuristique raisonnable que le savoir associé avec ce que nous traitons soit probablement pertinent pour ce traitement. » (1983, p. 87). Il démontrera plus tard (1993) que le niveau d'activation d'un élément de donnée peut être interprété comme une fonction<sup>1</sup> de la probabilité que l'élément considéré soit pertinent dans le contexte.

Une notion clé est alors la compétition entre schémas. En effet, les ressources conscientes étant limitées, seuls les schémas les plus activés ont une chance d'accéder à un traitement conscient (Baars, 1988 ; 1997). Les autres tendent alors à être éliminés de la représentation consciente. Ainsi les connexions dans le réseau peuvent déterminer une restriction rapide de l'ensemble des hypothèses plausibles. La compétition entre schémas pourrait expliquer les études empiriques ayant montré que toute l'information disponible n'est pas utilisée par les médecins (par ex., Hoffman et al., 1968 chez des radiologues; Weber et al., 1993 chez des généralistes). Selon Lesgold et al. (1988), le processus initial de sélection des hypothèses diagnostiques serait analogue au modèle du Pandémonium de Selfridge (1959), c'est-à-dire à un modèle où les processus automatiques de bas niveau (comme la sélection de traits primitifs) fournissent l'information d'entrée à des processus de plus haut niveau (la sélection de schémas correspondant à des ensemble de traits), lesquels à leur tour fournissent l'information d'entrée de processus encore plus élevés (par exemple, la sélection d'hypothèses diagnostiques). Ces processus s'appuieraient sur des probabilités associées aux maladies. Ce point de vue est étayé par les travaux de Hasher et Zacks (1979, 1984), selon qui la fréquence d'occurrence associée aux faits serait encodée spontanément en mémoire. Par ailleurs, dans une situation de simulation sur des étudiants, Medin et Edelson (1988) ont observé un effet de la connaissance de la fréquence des maladies, connaissance acquise au travers de l'expérience de jugements diagnostiques. L'entraînement des jeunes médecins et l'expérience étant censés calibrer progressivement ces probabilités subjectives, c'est-à-dire ajuster les probabilités subjectives avec les probabilités objectives, un modèle de type Pandémonium répondrait donc en même temps à la question de l'acquisition de pertinence.

Les traitements automatisés probabilistes ne peuvent cependant expliquer seuls la pertinence. Medin et Edelson ont ainsi identifié une heuristique d'échappement per-

---

<sup>1</sup> Techniquement, le « log odd ratio ».

mettant de prendre en compte des cas rares. Nous allons donc examiner maintenant comment certaines heuristiques peuvent maximiser la valeur de pertinence.

## **I.2 Heuristiques et pertinence**

En situation de décision, un individu doit souvent faire appel à des traitements dits « heuristiques », qui permettent de produire en un temps raisonnable une décision valable dans une majorité de cas (mais pas dans tous). Les heuristiques peuvent éventuellement être complétées par des raisonnements plus délibérés. Evans (1989) distingue ainsi deux étapes : une étape où « les processus heuristiques (...) déterminent ce à quoi les sujets feront attention et au sujet de quoi ils penseront », p. 25), et une étape analytique où les raisonnements délibérés sont produits.

Formellement, deux composants majeurs déterminent une décision : l'incertitude et l'utilité. Divers modèles de la sélection de l'information pertinente tournent autour de ces concepts : la théorie de la pertinence, qui a montré le rôle du contexte dans le traitement de la pertinence (Sperber & Wilson, 1986, 1995 ; Sperber et al., 1995), le gain d'information attendu (Oaksford & Chater, 1994, 1995; Over & Evans, 1994) ou directement l'utilité subjective espérée (par ex., Green et al., 1997; Kirby, 1994). Dans cette optique, seront jugées pertinentes les hypothèses qui ont une forte plausibilité et/ou d'importantes conséquences. Les processus heuristiques de décision ont été étudiés dans cette perspective et les chercheurs se sont donc attachés à déterminer les processus par lesquels les jugements de probabilité et d'utilité étaient produits, mais aussi les biais induits par ces processus. En effet, si d'un point de vue normatif, des procédures différentes de jugement devraient conduire à une même évaluation, les différentes heuristiques conduisent généralement à des évaluations divergentes entre elles (e.g., Cadet et al., 1995) et divergentes de la norme formelle.

Une première heuristique pour traiter l'incertitude est « l'heuristique de représentativité » qui consiste à juger de la probabilité d'une classe en fonction de la similarité perçue entre les propriétés connues d'un stimulus (e.g., des symptômes) et les propriétés des classes cibles (e.g., les effets connus des maladies). En utilisant cette heuristique, le médecin jugera la grippe d'autant plus probable que le cas du patient ressemble aux autres cas de grippe qu'il connaît (soit par expérience directe, soit par ce qu'il en a appris à l'Université). Divers travaux ont montré que les jugements d'incertitude et les jugements de similarité étaient fortement corrélés (e.g., Bar-Hillel, 1973). Comme toute heuristique, l'heuristique de représentativité ne fonctionne pas toujours. De façon générale, plus le cas soumis au médecin sera atypique et plus l'heuristique de représentativité produira des estimations biaisées.

Une seconde heuristique pour juger de l'incertitude est « l'heuristique de disponibilité » qui consiste à juger de la probabilité d'une classe en fonction de la facilité avec laquelle les instances de cette classe viennent à l'esprit. En utilisant cette heuristique, un médecin jugera par exemple d'autant plus fréquente une maladie que des

exemples de patients ayant eu cette maladie lui viendront à l'esprit. Cette heuristique tire sa validité des propriétés du fonctionnement de la mémoire : nous nous rappelons mieux et plus facilement les événements fréquemment rencontrés. De ce fait, la facilité avec laquelle les éléments viennent à l'esprit constitue un indice généralement valide de leur fréquence. Là encore, toutefois, cet algorithme conduit à des biais (Tversky & Kahneman, 1973). Les médias par exemple, en mettant l'accent sur certaines maladies, augmentent la disponibilité des éléments associés à ces maladies et donc la possibilité subjective qu'un patient présente effectivement ces pathologies.

Les travaux sur le jugement et la prise de décision ont dégagé de nombreuses autres heuristiques (Gigerenzer et al., 1999 ; Gilovich et al., 2002 ; Kahneman et al., 1982) que nous n'avons pas la place de détailler ici. Le prochain chapitre sera consacré entièrement à une classe spécifique d'heuristiques qui capturent plutôt l'utilité, celles liées à l'affect. Auparavant examinons la question des traitements délibérés.

### **I.3 Pertinence et traitements analytiques**

La pertinence pourrait provenir de traitements délibérés lorsque des traits perceptifs sont trop ambigus pour être catégorisés automatiquement. L'importance d'une "stratégie d'exploration comparative" a ainsi été démontrée par une étude où la zone visible d'une radiographie était restreinte à la partie contenant les anomalies. Paradoxalement, ce dispositif a réduit la détection des anomalies (Carmody et al., 1980). Ce que les auteurs ont interprété de la façon suivante : pendant la lecture du cliché, les médecins comparent les images dont le caractère anormal est ambigu à un critère de décision (acquis par l'expérience) et établissent ainsi les limites de normalité des caractéristiques. Le radiologue ajuste son critère de décision à l'ensemble des traits ambigus spécifiques du film, durant l'exploration. Certains critères sont évalués sur des bases purement locales tandis que d'autres requièrent la comparaison de l'apparence des traits ambigus à celle de traits normaux présents en différents endroits (comme les côtes ou les patterns vasculaires). Le radiologue décide alors si le trait est normal ou pathologique sur la base de cette comparaison. En ce cas, cependant, la détection elle-même n'est pas opérée par un processus délibéré : celui-ci ne sert qu'à ajuster un paramètre qui influe secondairement sur les processus perceptuels.

Lemieux et Bordage (1986) ont trouvé que des neurologues ayant produit les diagnostics corrects avaient aussi une représentation plus profonde du problème, ceci parce qu'ils étaient capables de transformer les significations élémentaires en réseaux à la fois riches et bien organisés. Lorsqu'ils rassemblaient les données, leurs sujets utilisaient des « axes sémantiques » binaires, composés de paires de « propriétés abstraites » opposées (par ex. l'axe aigu/chronique). Ces axes étaient à la fois plus pertinents et plus diversifiés chez les experts que chez les novices. Selon Lemieux et Bordage, les diagnosticiens ayant réussi avaient une plus grande « capacité à reconnaître

les relations pertinentes entre les propriétés abstraites » (1992, p. 198). De ce fait, les diagnosticiens performants seraient capables de suivre un « chemin vertical d'abstraction » à partir du cas, tandis que les diagnosticiens peu performants n'en seraient pas capables. Le chemin vertical serait construit progressivement au moyen des axes sémantiques, qui permettent au médecin, lorsqu'il est face à une bifurcation, de décider quelle direction doit être prise. Malheureusement la pertinence est justifiée par l'utilisation de « qualités formelles » pertinentes... sans que les auteurs ne précisent comment les qualités en question sont sélectionnées.

Au total, les traitements analytiques semblent augmenter la pertinence de la représentation par l'ajout de conclusions valides et l'élimination d'incohérences tandis que processus automatiques semblent constituer un socle d'informations sur lequel porteront les processus délibérés. Nous allons maintenant examiner comment ces résultats se traduisent dans le cadre de notre modèle théorique.

## II. COMMENT NOTRE MODELE EXPLIQUE LA PERTINENCE

Dans notre modèle, la pertinence résulte de l'intégration des éléments du réseau sémantique qui porte la représentation, intégration couplée avec les mécanismes classiques de renforcement. C'est ce que nous allons maintenant détailler.

La pertinence provient des relations qu'entretiennent les éléments du réseau. En effet, le caractère limité des ressources attentionnelles disponibles implique l'existence d'une compétition pour l'obtention des ressources limitées non partageables. Puisque nous postulons que cette compétition est basée sur la quantité d'activation associée aux schémas, seuls seront traités attentionnellement les schémas suffisamment activés. Les schémas pertinents recevront en général de multiples amorces et donc plus d'activation que les autres puisque l'amorçage multiple est additif (Balota & Paul, 1996). Ainsi, plus les connaissances d'un sujet sont reliées entre elles, et plus le sujet montrera de pertinence dans ses analyses.

Une approche en réseau est aussi compatible avec celle de Sperber et Wilson (1986) qui distinguent l'hypothèse focale du contexte. Ici, l'hypothèse focale est l'élément dont la pertinence est considérée tandis que le reste du réseau sémantique code le contexte. La différence est qu'ici le contexte est non seulement codé au niveau symbolique, mais aussi au niveau subsymbolique. En effet, il contient l'ensemble des propositions symboliques qui constituent le contexte dans la définition de Sperber et Wilson, mais en plus il contient les informations subsymboliques non codées propositionnellement, comme la réaction affective aux éléments ou les associations implicitement acquises par l'effet de l'expérience.

Au niveau de l'opérationnalisation, le modèle conduit à une hypothèse nouvelle : *La pertinence devrait être corrélée à l'intégration.* Puisque la pertinence est supposée venir de la diffusion de l'activation au sein des réseaux sémantiques, il devrait y avoir



une corrélation entre l'intégration et la pertinence. En particulier, les schémas pertinents devraient recevoir plus d'activation puisqu'ils sont mieux compatibles avec l'ensemble des données disponibles. Par ailleurs, si la pertinence résulte de la structure du réseau, alors la corrélation entre intégration et pertinence devrait être indépendante de l'expérience. Au contraire la relation entre pertinence et expérience ne devrait pas survivre à un contrôle sur l'intégration.

En résumé, nous postulons que la pertinence provient indirectement de l'expérience, par le fait que celle-ci augmente l'interdépendance des connaissances. Opérationnellement, cette interdépendance est mesurable par la variable « intégration » décrite plus haut, dans la section sur la richesse. L'hypothèse est donc que l'expérience corrèle avec la pertinence, mais par le biais de l'intégration.

### III. DONNEES EXPERIMENTALES

#### Méthode

Le recueil est celui décrit dans le chapitre précédent (sur la richesse).

Afin de traduire une propriété globale des réseaux sémantiques qui pourrait traduire l'interdépendance des éléments de la représentation, nous avons défini une fonction appelée « **intégration** » qui se ramène au rapport du nombre de liens sur le nombre de schémas.

Une représentation a été considérée d'autant plus pertinente qu'elle contenait proportionnellement de traits clairement visibles ou d'indices pouvant être légitimement inférés à partir du film. Nous avons établi une liste de schémas utilisés par chaque sujet. Pour chaque schéma, nous avons décidé, avec notre radiologue expert, s'il était légitime de l'évoquer. La note de pertinence était la proportion de schémas pertinents dans les verbalisations. Afin d'évaluer la fiabilité du codage, deux radiologues experts « alliés » ont construit les réseaux sémantiques à partir de huit protocoles (un par groupe et par cliché), en utilisant les règles présentées plus haut. A chaque schéma et à chaque lien cités par au moins un codeur, une valeur a été attribuée pour chaque codeur : « 1 » si le schéma était cité par le codeur, « 0 » sinon. Les codeurs ont aussi évalué la pertinence des schémas (« 1 » si le schéma était jugé pertinent, « 0 » sinon). Pour chacune de ces trois variables nous avons calculé la statistique  $G$  (Light, 1971) qui permet de comparer l'accord conjoint de plusieurs codeurs avec un standard (ici, notre codage initial). Enfin, à titre exploratoire, nous avons calculé une nouvelle variable, appelée « **précision** » définie comme le rapport du nombre de diagnostics corrects faits par un sujet sur le nombre total de diagnostics que ce sujet a porté.

#### Résultats

L'index d'accord pour le codage de la pertinence était excellent ( $G_{(207)} = 10.12$ ;  $p < .001$ ). Comme nous en avons fait l'hypothèse, la pertinence a augmenté avec l'expérience ( $F_{(3,18)} = 8.59$ ;  $p < .001$ ).

	Novices Moyenne (SD)	Intermédiaires Moyenne (SD)	Experts de Base Moyenne (SD)	Super Experts Moyenne (SD)
Intégration	0.78 (0.16)	0.99 (0.10)	1.07 (0.92)	1.16 (0.9)
Pertinence	0.74 (0.13)	0.93 (0.06)	0.91 (0.02)	0.98 (0.02)
Justesse	1.63 (1.06)	2.33 (1.03)	1.5 (0.58)	3.25 (0.96)
Précision	43.13 (30.01)	49.37 (16.29)	91.68 (16.65)	49.10 (9.69)

### Tableau IV.1 : Intégration et pertinence selon l'expérience

Bien que le Tableau IV.1 semble montrer que les experts de base ont témoigné d'une plus faible pertinence que les intermédiaires, la différence n'était pas significative. Cette absence de différence suggère néanmoins que l'efficacité des mécanismes qui génèrent la pertinence dans les niveaux d'expertise allant de novice à expert de base atteint une limite au delà de laquelle seuls les super experts vont. La pertinence s'est effectivement accrue en fonction de l'intégration des réseaux sémantiques,  $r(22) = .78$ ;  $p < .005$ . En accord avec de nombreuses études précédentes, l'indice de pertinence de la représentation a augmenté avec l'expérience ( $p < .001$ ). Mais après contrôle de l'effet de l'intégration des réseaux sémantiques, la relation entre expertise et pertinence n'était plus dépendante significativement de l'expérience ( $F_{(3,17)} = 1.36$ ;  $p = .24$ ), tandis que les variations d'intégration expliquaient significativement les variations de pertinence ( $F_{(3,17)} = 5.38$ ;  $p = .033$ ).

Ainsi l'accroissement d'intégration des réseaux sémantiques pourrait bien être la source de l'acquisition de pertinence. Néanmoins, cette image est un peu simpliste car les novices ont contribué le plus à la relation entre intégration et pertinence, suivis des intermédiaires. Nous trouvons une décroissance monotone de la corrélation entre intégration et pertinence au fur et à mesure que l'expérience s'accroît : de .62 chez les novices -.77 chez les super experts. La corrélation intra-groupe n'est vraiment significative que chez les novices ( $p < .05$ ). Bien entendu les effectifs sont très faibles et ces corrélations intra-groupes sont à prendre avec une extrême précaution. Elles suggèrent cependant que la corrélation entre intégration et pertinence, qui est globalement très bien confirmée, s'affaiblit cependant progressivement avec l'expérience.

La précision variait avec l'expérience,  $F_{(3,18)} = 4.69$ ;  $p = .014$ ), et les experts de base ont obtenu la meilleure précision (la comparaison post-hoc étant significative avec tous les autres groupes,  $p_s < .05$  au test S-N-K). Cela signifie probablement que les experts de base restreignent leurs inférences aux diagnostics typiques, contrairement aux super experts qui tendent à explorer toutes les possibilités.

En fait, diverses analyses (cf. Raufaste, Eyrolle, & Mariné, 1998), notamment qualitatives, ont montré que chez les super-experts, et face à des clichés complexes, l'emploi d'une plus grande quantité de raisonnements délibérés se traduit par un niveau accru de pertinence. Ainsi, bien que les super-experts obtiennent un indice de pertinence moyen plus élevé que les experts de base ( $p < 0.003$ ), cette supériorité ne semble pas due à la mise en œuvre d'automatismes au moment du diagnostic. Au contraire, les experts de base acquièrent la pertinence en augmentant le poids des automatismes dans leur activité : ils possèdent plus d'automatismes que les novices. Mais sur des cas qui prennent les automatismes en défaut, cela se fait au détriment de la justesse (la corrélation entre justesse et pertinence n'était que tendancielle ( $r_{(20)} = .36$ ,  $p = .051$  en unilatéral).

### Discussion

Les résultats ont donc corroboré nos hypothèses, ce qui a permis d'apporter, sur la base de verbalisations réelles de médecins, une validation empirique du rapport entre pertinence et modélisation en réseau des connaissances expertes.

## **IV. CONCLUSION SUR L'INCERTITUDE ET LA PERTINENCE**

En conclusion, nous reviendrons sur l'idée que la pertinence peut résulter de l'emploi de processus heuristiques : notamment les heuristiques de disponibilité et de représentativité pour l'aspect incertitude, d'affect pour l'aspect utilité. Il restait cependant à expliquer comment fonctionnaient ces heuristiques. Une modélisation en réseau permet d'en rendre compte de façon économique. En effet, le calcul de similarité sur lequel repose l'heuristique de représentativité s'apparente fondamentalement à l'opération que réalise un réseau associationniste. Par ailleurs, l'heuristique de disponibilité revient à évaluer la fréquence d'une pathologie par la facilité avec laquelle ses instances viennent à l'esprit. Or, la facilité avec laquelle les éléments viennent à l'esprit est directement reliée à la valeur d'activation des schémas : plus un schéma est activé et plus il passe facilement au dessus du seuil focal. Donc, plus il vient facilement à l'esprit.

Nous avons aussi évoqué le problème de la prise en compte du contexte dans l'évaluation de la pertinence, ainsi que le relèvent les auteurs de la théorie de la pertinence. De ce point de vue, il est intéressant de noter que l'encodage du contexte est automatique dans un réseau connexionniste : si certains éléments sont suffisamment activés pour devenir conscients, les éléments moins activés n'en constituent pas moins un contexte qui encode des éléments dont le sujet n'est pas conscient mais qui servent au calcul de pertinence.

Au total, une modélisation en réseaux sémantiques paraît bien adaptée pour modéliser l'aspect incertitude de la valeur de pertinence.

\* \* \*

Nous allons maintenant considérer la deuxième facette de la pertinence : l'espérance d'utilité résultant des évaluations affectives.

## **CHAPITRE V : OPTIMISATION DE LA PERTINENCE (PARTIE 2 : APPROCHE PAR L'AFFECT)**

L'utilité est au cœur du concept de pertinence... et l'affect est au cœur du calcul de l'utilité (e.g., Ito & Cacioppo, 1999). Mais d'autres composants sont aussi impliqués. À partir d'études en psychophysiologie, Shizgal (1999) distingue (1) un composant de « traitement perceptuel » qui définit ce qu'est et où est le but ; (2) une horloge interne qui prédit quand et comment le but sera disponible; (3) un « canal évaluatif » qui retourne des informations d'intensité et pouvant se traduire par des sentiments de plaisir ou de souffrance... A priori, le premier composant est pris en charge par notre modèle général. Le second composant est impliqué dans la gestion de la valeur de synchronisation mais ne fait pas partie du présent programme de recherche. La structure du dernier composant et son influence sur le jugement et la décision sont précisément ce dont traite le présent chapitre. Nous présentons d'abord le problème que pose la structure dimensionnelle de la valence aux conceptions utilisant l'affect immédiat comme heuristique. Le reste du chapitre exposera plusieurs réponses à cette question.

### **I. LE PROBLEME DE LA DIMENSIONALITE DE LA VALENCE**

#### **I.1 L'heuristique d'affect**

Finucane et al. (2000) ont expliqué au moyen d'une « heuristique d'affect » un phénomène bien documenté dans la littérature sur le risque : le fait que les jugements de risque et de bénéfice à propos de technologies ou de dangers naturels tendent à être négativement corrélés (e.g., Fischhoff et al., 1978; McDaniels et al., 1997; Mullet et al., 1993; Slovic et al., 1991; Slovic, 1997), et ce probablement du fait d'une évaluation affective (Alhakami & Slovic, 1994). Pour comprendre comment, revenons à Damasio, qui a baptisé « marqueur somatique » des intuitions affectives produites en réponse aux stimuli de la situation (1995; Damasio et al., 1991). Un sujet adulte sain peut récupérer en mémoire non seulement une représentation cognitive « froide », mais aussi les marqueurs somatiques qui ont été enregistrés. Le mélange de tous les marqueurs somatiques activés par une situation particulière produit un nouveau sentiment utilisable pour choisir les options favorables : « le premier effet du marqueur somatique serait de fournir une intuition des mérites d'une réponse donnée, et de forcer l'attention sur la nature positive ou négative d'options de réponse données, en fonction de leurs conséquences prévisibles (1991, pp. 220-221).

L'heuristique d'affect s'appuierait un marquage affectif de chaque image mentale, constituant ainsi un « pool affectif » qui contiendrait tous les marquages affectifs,

positifs et négatifs, associés aux représentations. L'heuristique d'affect consiste à juger et décider d'après ce pool affectif.

## **I.2 Non unicité du concept de valence et heuristique d'affect**

Le terme « affect » dans « heuristique d'affect » se rapporte à une qualité spécifique de « goodness » ou « badness », vécue comme un état émotionnel, avec ou sans conscience, et démarquant la qualité positive ou négative d'une stimulus (Slovic et al., 2002). Initialement cette qualité était interprétée par Finucane et al. (2000) comme étant la valence. Toutefois, des arguments empiriques soutiennent une analyse bidimensionnelle des émotions : valence (caractère plaisant / déplaisant) et éveil (« arousal », traduisant l'intensité de la réaction), ou « activation positive », dénotée PA, et « activation négative », dénotée NA, (e.g., Feldman-Barrett & Russel, 1999; Remington et al., 2000). Ainsi, certains postulent que l'évaluation affective doit être considérée comme la fusion des évaluations issues de deux systèmes distincts et largement indépendants, spécialisés dans l'affect négatif pour l'un, dans l'affect positif pour l'autre (e.g., Cacioppo & Berntson, 1999; Cacioppo et al., 1999, Ito & Cacioppo, 1999). Watson et al. (1988) ont développé une méthode de mesure de l'humeur appelée "Positive Activation and Negative Activation Scales" (PANAS), et construite de façon à ce que les activations positive et négative soient deux dimensions orthogonales. Comment concilier le concept d'heuristique d'affect et les travaux qui remettent en cause la valence en tant que bipolaire univariée ? Par surcroît, Reich et al. (2001) soutiennent que l'unidimensionnalité est requise pour réduire les coûts de traitement de l'information. Puisque, l'heuristique d'affect est précisément censée faciliter le traitement des situations complexes et à forte pression temporelle, comment concilier l'unidimensionnalité requise avec la bidimensionnalité de fait de la valence ? Nous proposons une première solution, la « bipolarité dynamique ». Ensuite, nous montrons que le problème ne se pose pas pour l'affect dispositionnel et nous terminons en proposons un changement radical de point de vue qui soustrait l'heuristique d'affect au problème de la dimensionnalité de la valence.

## **II. UNE PREMIERE PISTE : LA BIPOLARITE DYNAMIQUE<sup>1</sup>**

Même si PA et NA sont indépendantes quant aux mesures instantanées (faites à un instant  $t$ ), les changements le long de ces axes pourraient néanmoins être négativement corrélés, propriété qualifiée de « *bipolarité dynamique* » (Green et al., 1999). Lors du premier jugement (disons, de risque), le sujet se forge une représentation de l'objet à évaluer. Ensuite, pour le second jugement, il se focalise sur les éléments bénéfiques, ce qui transforme sa représentation. La bipolarité dynamique est le fait que les transformations suivent globalement un axe de pente négative (i.e., les hausses sur l'axe PA s'accompagnent le plus souvent de baisses sur l'axe NA, et ré-

---

<sup>1</sup> Cette section de larges extraits de l'article Vautier & Raufaste (2003);

ciproquement). Les mesures prises à  $t_1$  (risque) seront donc négativement corrélées à celles prises à  $t_2$  (bénéfice). Peut-on observer de la bipolarité dynamique dans l'affect ?

## II.1 Principe du test

Il s'agit de tester une relation linéaire inverse entre deux changements. Pour estimer la corrélation de deux scores vrais (i.e., indépendamment de l'erreur aléatoire de mesure), Steyer et al. (1997) ont proposé « de spécifier un modèle d'équation structurale de telle façon que les scores de changements latents entre chaque paire d'occasions de mesures successives soient les valeurs des variables latentes endogènes dans le modèle » (p. 22). Pour définir pleinement le modèle de mesure, les espérances mathématiques ( $E$ ), la variance ( $V$ ) et la covariance ( $Cov$ ) ont été spécifiées en assumant que  $E(f_i) = E(e_i) = 0$ ,  $V(f_i) = 1$ ,  $Cov(f_i, e_i) = 0$ ,  $i \in \{1, 2\}$ . Dénotons  $f_i$  les scores latents standardisés d'affect, et  $e_i$  les erreurs de mesure avant l'expérience. Dénotons aussi  $a_1$  le coefficient dans l'équation linéaire. Alors le score mesuré sur PA ou sur NA est

$$x_1 = a_1 f_1 + e_1 \quad (\text{eq. V.1})$$

De façon similaire, après l'expérience nous avons

$$x_2 = a_2 f_2 + e_2 = a_2 f_2 + (a_2 f_1 - a_2 f_1) + e_2$$

et finalement

$$x_2 = a_2 f_1 + a_2 (f_2 - f_1) + e_2 \quad (\text{eq. V.2})$$

(eq. V.1) spécifie une variable latente manifeste mesurée au temps  $t_1$  et (eq. V.2) spécifie la même variable mesurée à  $t_2$ . La différence entre les deux états latents est présentée comme une variable latente car elle ne contient aucune erreur de mesure. Modéliser les variables latentes retire l'erreur aléatoire de mesure dans l'estimation des corrélations cibles. De plus, l'erreur systématique peut-être prise en compte en corrélant les erreurs des variables identiques (Green et al., 1993). Sous l'hypothèse de bipolarité dynamique stricte, les deux scores de changement latents devraient corrélérer à -1. A noter : les 10 items sont scindés en 2 parcelles (les 5 premiers puis les 5 derniers) afin d'assurer la Tau-équivalence essentielle, propriété requise pour rendre compte de la différence entre les variables observées.

## II.2 Méthode

**Participants.** 217 étudiants de l'Université du Mirail ont participé à l'expérience, dont l'objectif déclaré était d'étudier l'influence de l'émotion sur l'apprentissage intuitif.

**Matériel et Procédure.** Les participants, assis face à un ordinateur, remplissaient le questionnaire affectif, lisaient les instructions, procédaient à l'apprentissage et finalement remplissaient le questionnaire une seconde fois. L'expérience entière durait environ 40 minutes.

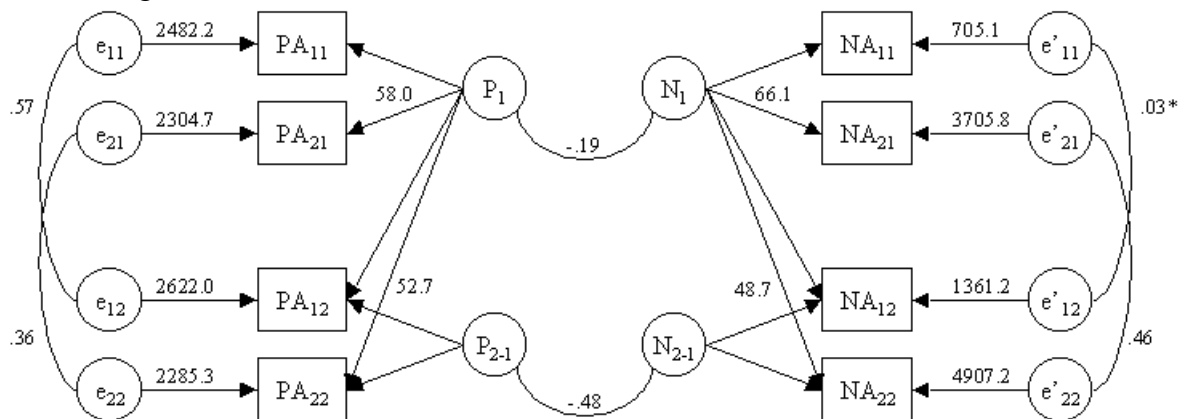
Les activations positive et négative ont été mesurées au moyen des échelles PANAS, c'est-à-dire de deux ensembles de 10 mots (10 pour PA, 10 pour NA) dont les participants devaient évaluer s'ils correspondaient à leur état actuel sur une échelle visuelle analogique.

Les paires « adjectif - échelle d'évaluation » étaient présentées une par une.

**Analyse.** Les données de trois participants « outliers » (distances de Mahalanobis) ont été éliminées. L'impact de l'expérience sur PA et NA a été évalué par l'indice de taille d'effet  $d$  de Cohen (1988) et un test  $t$  de student. La distribution d'échantillonnage des corrélations entre les variables latentes, appelées respectivement  $P_1$ ,  $N_1$ ,  $P_{2-1}$  et  $N_{2-1}$  a été estimée statistiquement par une procédure de bootstrapping (Steiger, 1999) avec 1000 répliqués.

### II.3 Résultats

La Figure V.1 montre le modèle structural estimé.



**Figure V.1 : Modèle de test de la bipolarité dynamique de PA et NA**

Les traits entre variables latentes sont des corrélations. \* = ns. Dans les rectangles  $X_{ij}$  (e.g.  $PA_{21}$ ),  $X$  dénote PA ou NA,  $i$  dénote la parcelle (5 premiers ou 5 derniers items mesurés), et  $j$  dénote l'occasion de mesure (avant ou après).

Les scores de changement latent corrôlaient à  $-.48$  ( $p < .001$ ) alors que les scores latents initiaux corrôlaient à  $-.19$  ( $p = .005$ ). L'ajustement était acceptable,  $\chi^2(18, 214) = 26.54$ ,  $p = .088$ , AGFI = .94, l'intervalle de confiance du RMSEA à 90% était  $CI_{RMSEA} = [0, .083]$ . Un modèle où  $P_1$  et  $P_{2-1}$  (resp.  $N_1$  et  $N_{2-1}$ ) étaient corrôlés s'ajustait un peu moins bien et aucune des corrôlations n'étaient significatives.

La corrôlation entre  $r_{2-1}$  était significativement plus forte (i.e., plus négative) que la corrôlation  $r_1$  ( $p < .001$  au test de Fischer). Les intervalles de confiance à 90% de la moyenne des corrôlations étaient  $M(r_1) \in [-.310, -.015]$  et  $M(r_{2-1}) \in [-.644, -.321]$ .

### II.4 Discussion

Nous avons fait l'hypothèse qu'une bipolarité dynamique pourrait expliquer la variation corrôlée de constructs orthogonaux. Nos résultats ont bien montré que PA et NA ont varié dans une direction opposée, mais selon une corrôlation modérée. L'indépendance dynamique stricte et la bipolarité strictes ont toutes deux été rejetées. Nos résultats soutiennent donc une conception où les variations de PA et NA ne peuvent être capturés qu'au moyen de deux dimensions distinctes.

Cela étant, nos changements de scores PA et NA corrôlaient à  $-.48$ . Or, sous forte pression temporelle, les sujets de l'expérience I de Finucane et al. (2000) ont des jugements de risque et bénéfice corrôlés jusqu'à  $-.68$  et  $-.71$ . Cela implique-t-il que

l'heuristique d'affect n'est pas plausible ? Nous ne le pensons pas. Selon Zautra et al. (2002) un synchronisme variable pourrait expliquer des changements de PA et NA corrélant de -1 à 0 selon les situations. Plus précisément, la bipolarité est vue comme une forme de simplicité cognitive (d'où son intérêt pour l'heuristique d'affect) et de ce fait, l'affect tendrait à devenir strictement bipolaire quand le niveau de stress augmenterait. Une telle explication serait compatible avec le fait que Finucane et al. (2000) ont observé des corrélations accrues entre jugements de risque et de bénéfice quand les sujets étaient placés en situation de forte pression temporelle. Par ailleurs, dans une hypothèse où la bipolarité servirait à traiter de façon simplifiée des situations complexes, et où donc la bipolarité varierait en fonction des situations, l'heuristique d'affect pourrait s'appliquer d'autant plus que la situation est complexe, propriété très souhaitable pour une heuristique.

Examinons maintenant la dimensionnalité de la valence sous l'angle non plus de l'affect immédiat, mais sous celui des différences individuelles stables.

### **III. STRUCTURE DE L'AFECT DISPOSITIONNEL<sup>1</sup>**

Les chercheurs sur l'émotion considèrent classiquement une affectivité « état » (i.e., une affectivité labile à plus ou moins long terme, l'émotion ou l'humeur par exemple) et une affectivité « trait », d'ordre dispositionnel. Certaines dispositions stables, comme l'optimisme dispositionnel, pourraient influencer les jugements. Or, deux modules émotionnels distincts pour l'évaluation des affects positif et négatif pourraient induire une bidimensionnalité de l'optimisme dispositionnel. De fait, on retrouve dans les travaux sur l'optimisme la question de la dimensionnalité: Y a-t-il un optimisme bipolaire ou bien un optimisme ET un pessimisme unipolaires ?

#### **III.1 Le Life-Orientation Test (LOT) et les modèles de l'optimisme**

Le « Life Orientation Test » (« LOT », Scheier & Carver, 1985, 1992) a été proposé en réponse à une controverse sur le caractère uni- ou bidimensionnel de l'optimisme dispositionnel. Celui-ci, défini comme l'attente de résultats positifs, était conçu comme un trait simple (unidimensionnel). Dans la version révisée, le « LOT-R » (Scheier et al., 1994), les sujets évaluent leur degré d'accord avec 10 énoncés. Trois sont exprimés positivement (e.g. « Dans des périodes incertaines, je pense généralement que ce qui va arriver est le mieux pour moi »), trois négativement (e.g. « Si quelque chose peut tourner mal pour moi, ça tournera mal »), et enfin quatre sont des leurres normalement exclus du score composite final (e.g. « Il est facile pour moi de me relaxer »).

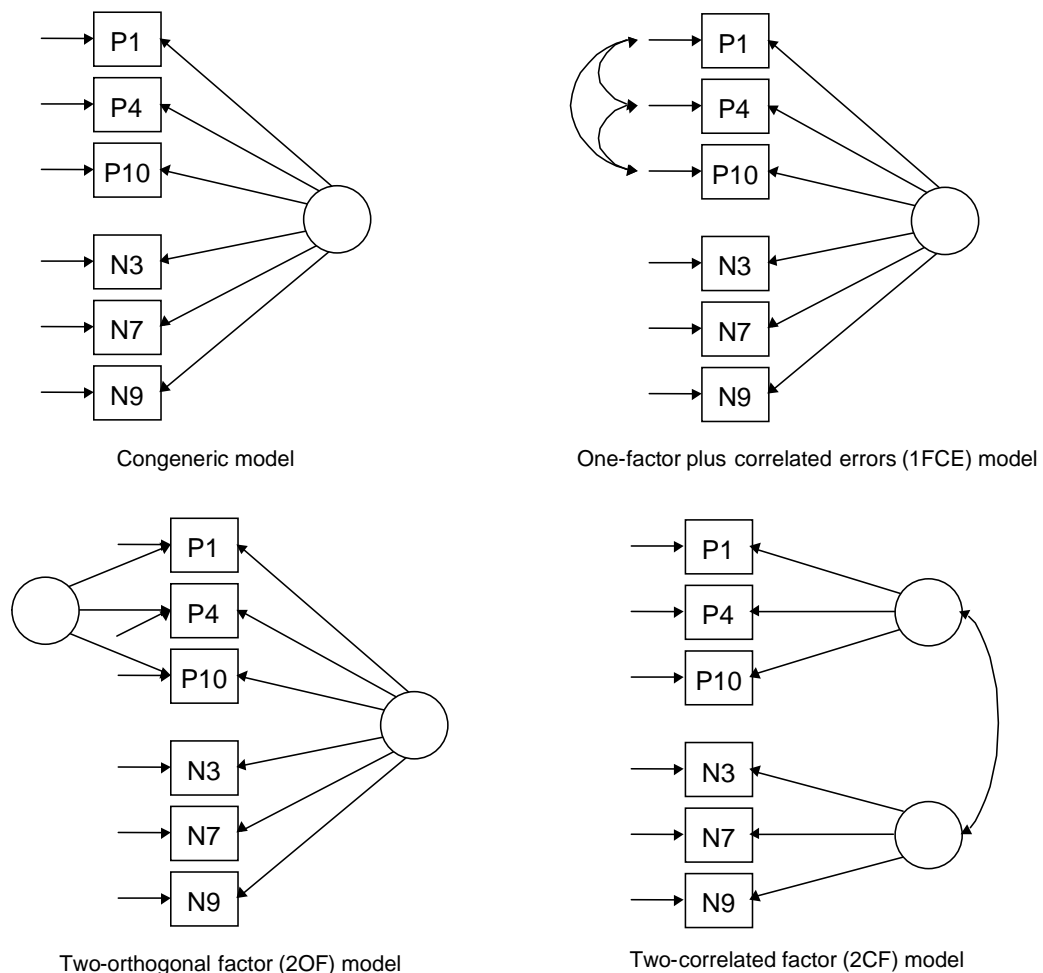
Diverses études empiriques suggèrent que deux facteurs corrélés prédisent les réponses positivement pour l'un, négativement pour l'autre (Lai et al., 1998). Nous

---

<sup>1</sup> Ce chapitre reprend de larges extraits de l'article; Vautier, Raufaste, & Cariou (sous presse).



appellerons « 2CF » (« 2 correlated factors ») ce modèle. Nous arguerons que le modèle unifactoriel de Scheier et al. (1994), désigné ici 1FCE (« 1 factor plus correlated errors ») est formellement équivalent à un modèle à deux facteurs orthogonaux (2OF, « 2 orthogonal factors »). Du fait que les termes d'erreurs des items positivement phrasés sont intercorrélés, le 1FCE constitue un argument *contre* l'unidimensionnalité des données du LOT-R. Nous proposerons de remplacer le modèle traditionnel 2CF par le modèle 2OF, théoriquement compatible à la fois avec l'unidimensionnalité de l'optimisme dispositionnel et avec la bidimensionnalité des données du LOT-R. Enfin, outre les trois modèles présentés au dessus, le modèle « congénérique » (Jöreskog, 1971) peut servir de contraste utile au modèle 1FCE : le premier corrobore l'unidimensionnalité des données tandis que le second la réfute (McDonald, 1981). La Figure V.2 montre les modèles testés ici : congénérique ; 1FCE ; 2OF ; et 2CF.



**Figure V.2 : Les quatre types de modèles testés**

Les rectangles indiquent les items du LOT-R, P ou N indique le phrasé positif ou non, le numéro est celui de l'item considéré. Les flèches bidirectionnelles sont des corrélations entre variables latentes (facteurs ou erreurs). Les erreurs latentes ne sont pas dessinées.

### III.2 Critique d'une approche unifactorielle

L'unidimensionnalité des données est peu compatible avec les faits empiriques.

Sur une sélection de 11 études de la structure factorielle du LOT et du LOT-R, seule celle de Lai et Yue (2000) soutient l'unidimensionnalité et rien ne permet de penser que cette sélection est biaisée. Scheier et al. (1994) et Steed (2002) ont certes présenté un modèle unifactoriel, mais avec des erreurs corrélées. Or, spécifier des erreurs corrélées dans un modèle unifactoriel détruit *ipso facto* l'unidimensionnalité.

Dans les modèles factoriels, les termes d'erreurs sont des variables latentes qui combinent additivement une source de variance vraie liée à la question et un composant d'erreur pure (e.g., Bollen, 1989, pp. 218-221). La part de variance vraie peut aussi bien être formalisée en recadrant le modèle 1FCE en un modèle 2OF, formellement équivalent mais dans lequel les corrélations d'erreurs sont remplacées par un « facteur de groupe » (Figure V.2 ci-dessus), c'est-à-dire par un facteur qui contribue à un sous-ensemble des items mesurés et représente explicitement une source systématique de variance (e.g., un attribut de style de réponse).

### III.3 Critique des modèles bifactoriels

Un modèle 2CF a été sélectionné dans six études du LOT initial (Chang & McBride-Chang, 1996; Cheng & Hamid, 1997; Lai, 1994; Marshall & Lang, 1990; Marshall et al., 1992; Robinson-Whelen et al., 1997), et dans trois études sur le LOT-R (Creed et al., 2002 ; Lai & Yue, 2000 ; Sultan & Bureau, 1999). Les mesures d'optimisme dispositionnel ont été conçues pour capturer une intuition d'attente positive ou négative (Carver & Scheier, 1998). Carver et Scheier (2001) ont envisagé la bidimensionnalité des mesures du LOT(-R) : « il se peut qu'un composant de la mesure reflète la confiance d'atteindre des résultats positifs, et que l'autre composant reflète la confiance d'éviter les résultats non désirés » (p. 41). En dépit d'un soutien empirique important, le modèle 2CF manque d'un support théorique clair : Il rend compte d'une corrélation négative imparfaite entre les facteurs de groupe « optimisme » et « pessimisme » mais pas de leur différence conceptuelle. Marshall et Lang (1990) ont suggéré que la bidimensionnalité de leurs données de LOT pourraient être expliquée par « un simple biais de méthode » (p. 134). Chang et McBride-Chang (1996) ont d'ailleurs montré que la bidimensionnalité disparaissait quand les items étaient re-phrasés de telle façon qu'une seule dimension soit apparente.

Admettre une variance artefactuelle conduit à faire l'hypothèse de deux sources de variance distinctes dans les données. Cette seconde source de variance peut être assumée *orthogonale* au construct (modèle 2OF), auquel cas la bidimensionnalité des données reste compatible avec l'unidimensionnalité de l'optimisme dispositionnel. La question est alors de donner un sens au facteur de groupe. Pour traiter cette question, nous avons proposé d'analyser le rôle des leurres.

### III.4 L'hypothèse de la désirabilité sociale et le rôle des leurres

Sur 11 études consacrées au LOT(-R), aucune ne considère explicitement la question du statut des leurres. Les leurres n'ont normalement rien à voir avec l'optimisme

dispositionnel. Néanmoins ils ont été introduits dans le questionnaire parce qu'ils sont supposés avoir un effet bénéfique sur la mesure des items cibles : ils doivent bloquer un effet qui, autrement, polluerait les items cibles. Quelle est la nature de cet effet ? Ayant observé que des corrélations joignaient les items positifs du questionnaire, Scheier et al. (1994) ont interprété ces corrélations comme un biais de désirabilité sociale lié au désir de se présenter positivement. Si nous examinons les quatre items leurres du LOT-R, nous trouvons (1) Fill2 : « il est facile pour moi de me relaxer » ; (2) Fill5 : « j'apprécie beaucoup mes amis » ; (3) Fill6 : « il est important pour moi de rester occupé » ; (4) Fill8 : « Je ne me sens pas bouleversé si facilement ». Il est socialement souhaitable d'apparaître relaxé, d'apprécier ses amis et de n'être pas facilement bouleversé. Rester occupé présente un profil plus ambigu car il peut faire apparaître comme une personne active (socialement positif) ou qui se réfugie dans l'action (négatif). Si l'on introduit un facteur groupe « style de réponse » pour capturer la tendance à vouloir donner une image positive, ces trois leurres devraient être positivement liés à ce facteur qui devrait, en outre, charger les trois items positifs.

### III.5 Méthode

**Participants.** 450 étudiants volontaires de trois universités françaises (149 hommes, 288 femmes et 13 personnes qui n'ont pas fourni les informations de sexe. L'âge moyen était de 21.8 (SD = 3.5). Les items du LOT-R étaient complètement remplis dans 442 questionnaires.

**Analyse.** Les analyses statistiques utilisées dans cette étude sont basées sur la modélisation en équation structurale, méthode robuste ML de EQS. Outre les indices d'ajustement classique (RMSEA, etc.), le test du Lagrange (LM test) a été utilisé pour évaluer la nécessité statistique de contraindre l'indépendance entre les erreurs. La fidélité du modèle de mesure a été testée selon l'approche de Raykov et Shrout (2002) de la fidélité d'un score composite, qui est une extension du coefficient  $\omega$  de McDonald (1999), lequel exige des loadings positifs. Afin d'obtenir des loadings positifs, les scores des items phrasés négativement ont été renversés. Les intervalles de confiance à 90% ont été calculés par bootstrapping (1000 répliques), en prenant les 5<sup>ème</sup> et 95<sup>ème</sup> percentile de la distribution résultante.

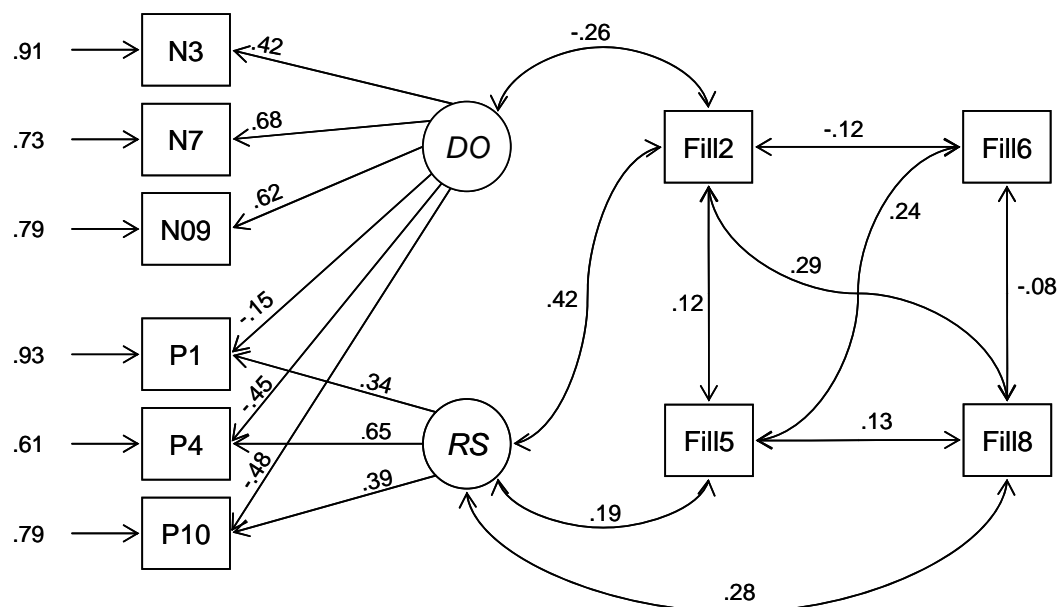
Le test avec les leurres a été réalisé en interprétant le modèle 2OF comme de l'optimisme dispositionnel univarié (DO), et en ajoutant un facteur groupe (RS) chargeant les items positifs. Le modèle structural juxtaposait les 6 items du LOT-R (2OF) et la matrice de covariance formée par les quatre leurres. Ainsi, le modèle entier assumait l'indépendance entre les leurres d'un côté et les composants du modèle de mesure d'autre part.

### III.6 Résultats

**Modèles congénérique et IFCE.** Le modèle congénérique a produit un fit médiocre.  $\chi^2(9, N = 442) = 35.53, p < .001, NFI = .84, RMSEA = .10, CI_{RMSEA} = [.07, .13]$ . Le LM test a suggéré que l'indépendance entre les deux paires d'items positivement phrasés pouvait être relaxée. Après cette re-spécification, l'ajustement s'est amélioré :  $\chi^2(7, N = 442) = 14.61, p = .04, NFI = .94, RMSEA = .06, CI_{RMSEA} = [.03, .10]$ . Une nouvelle re-spécification par inclusion d'une troisième covariance d'erreur entre les items positifs a elle aussi produit une amélioration du modèle.  $\chi^2_{\text{différence}}(1) = 6.80, \chi^2(6, N = 442) = 6.81, p = .34, NFI = .98, RMSEA = .04, CI_{RMSEA} = [.00, .08]$ .

Ainsi re-spécifié le modèle n'est plus un modèle congénérique mais un modèle 1FCE.

**Comparaison des modèles 2OF et 2CF.** Logiquement, le modèle 2OF a eu exactement les mêmes indices de qualité d'ajustement que le modèle 1FCE. Le modèle 2CF a aussi obtenu un bon ajustement  $\chi^2(8, N = 442) = 15.29, p = .05, NFI = .94, RMSEA = .06, CI_{RMSEA} = [.00, .09]$ . Les deux modèles n'étant pas emboîtés, la différence du  $\chi^2$  n'a pas été employée pour les comparer. Comme le modèle 2CF a 2 degrés de liberté de plus que le modèle 2OF, il a une plus haute probabilité de rejeter une hypothèse nulle d'ajustement faible (c'est-à-dire que la limite supérieure du  $CI_{RMSEA} > .08$ ). Malgré cela, le modèle 2OF permet de rejeter l'hypothèse d'ajustement faible tandis que le modèle 2CF ne le permet pas. D'où un léger avantage de 2OF sur 2CF.



**Figure V.3 : modélisation du Lot-R complet (modèle 2OF plus leurres)**

DO = optimisme dispositionnel, RS = style de réponse. Les flèches bidirectionnelles sont des corrélations entre variables latentes (facteurs ou erreurs). Les erreurs latentes ne sont pas dessinées.

**Comparaison des modèles 2OF et 1FCE.** Au plan fidélité, le bootstrapping du modèle 2OF a donné un intervalle de confiance de  $\omega = [.68, .76]$  contre  $[\cdot 53, \cdot 68]$  avec le modèle 2CF. Les deux intervalles de confiance ne se recouvrent pas, ce qui confirme l'idée que la façon de modéliser la matrice de covariance impacte significativement l'estimation de la confiance. La part de variance attribuable au facteur groupe sur la variance totale vraie allait de 12% à .23%. Cette part de variance représente la variance attribuable aux différences individuelles liées à la tendance (hypothétique) à donner une apparence positive. Cette supériorité n'est cependant liée qu'au mode de calcul de la fidélité. Elle n'est donc justifiée que si l'on dispose d'une explication convaincante pour le facteur groupe. C'est ce que nous allons voir maintenant.

**Introduction des leurres dans le modèle.** L'indépendance entre le modèle de mesure 2OF et les leurres a produit un mauvais ajustement,  $\chi^2(30, N = 442) = 136.06$ ,  $p < .001$ , NFI = .82, RMSEA = .09,  $CI_{RMSEA} = [.07, .11]$ . Le modèle corrélant modèle de mesure et leurres (Figure V.3) donnait au contraire un très bon ajustement,  $\chi^2(25, N = 442) = 30.84$ ,  $p = .19$ , NFI = .97, RMSEA = .03,  $CI_{RMSEA} = [.00, .05]$ .

### III.7 Conclusion

Le modèle unifactoriel ne décrit pas bien les données. Parmi les modèles non unifactoriels, 2OF et 1FCE se sont ajustés légèrement mieux aux données que 2CF. Le modèle 2OF est structurellement plus stable que 1FCE puisqu'il n'exige aucune corrélation libre entre les dimensions sous-jacentes aux données. Il a aussi expliqué une part de variance plus grande que 2OF. Enfin le modèle de mesure 2OF avec leurres s'ajuste très bien aux données. Le fait que les loadings soient inversés par rapport à ce qu'on attendrait de l'optimisme dispositionnel tendrait à faire réinterpréter celui-ci en « pessimisme dispositionnel. Cette situation renvoie à la littérature montrant que l'affect négatif pèse généralement plus lourd que l'affect positif (e.g., Ito et al., 1998; Kahneman & Tversky, 1979), ce que l'on semble retrouver ici en regardant les valeurs absolues des loadings associés aux items négatifs et positifs. La corrélation entre le leurre « il est facile pour moi de me relaxer » et l'optimisme dispositionnel n'a en fait rien de surprenant : cela ne choquera personne que les personnes optimistes aient plus de facilité à se relaxer.

Au total, ce test suggère que l'optimisme (ou pessimisme) dispositionnel est en fait un phénomène unidimensionnel tandis que les données utilisées habituellement pour le recueillir sont, elles, bidimensionnelles par suite d'un biais de désirabilité sociale. Par conséquent les problèmes qui pèsent potentiellement sur l'heuristique d'affect n'ont pas de raison de concerner l'affect dispositionnel. Revenons donc maintenant au rôle de l'affect dans la gestion de la valeur de pertinence.

Nous avons vu que l'heuristique d'affect pouvait se heurter au caractère bidimensionnel de la valence et nous avons apporté un début de solution en montrant que la bipolarité dynamique était un candidat plausible pour expliquer les corrélations entre risque et bénéfice malgré une relative indépendance des affects positifs et négatifs. Nous avons aussi montré qu'au niveau dispositionnel, une conception bipolaire univariée était tout à fait plausible (le second facteur n'étant qu'un biais de désirabilité social sur le questionnaire). Mais nous allons voir qu'une critique plus sévère oblige à reconsidérer la question plus en profondeur.

## IV. UNE NOUVELLE APROCHE : LA PROJECTION ETHIQUE<sup>1</sup>

### IV.1 Insuffisance de la dimension hédonique

Plusieurs auteurs soutiennent que les approches de la décision basées sur la valence « échouent à spécifier si différentes émotions de même valence influencent différenciellement le jugement et le choix » (Lerner & Keltner, 2000, p. 475). Par exemple, la peur et la colère ont toutes deux des valences négatives mais la colère favorise le combat tandis que la peur favorise la fuite. La peur augmente le risque perçu tandis que la colère l'abaisse (e.g., DeSteno et al., 2000; Lerner & Keltner, 2000; Lerner et al., 2003). Lerner et Keltner (2000) ont proposé une approche de la relation entre affect et jugements de risque en termes de « tendances d'appréciation » par lesquelles les émotions colorent l'interprétation des stimuli, exerçant ainsi des effets sur le jugement et le choix. Lerner et Keltner arguent que les approches par la valence impliquent que les sentiments négatifs conduisent invariablement à des jugements de risque accrus alors que l'approche par tendance d'appréciation serait capable de fournir des prédictions plus différenciées.

### IV.2 Des dimensions affectives mieux différenciées

Lerner et Keltner utilisent les dimensions de l'affect dégagées par Smith et Ellsworth (1985). Ces derniers ont étudié comment une approche dimensionnelle de l'affect pouvait rendre compte de la diversité des réponses émotionnelles de base. Ils ont identifié six dimensions affectives pouvant être utilisées pour différencier les émotions : (1) la dimension du *plaisir* représente une combinaison du caractère intrinsèquement plaisant ou non des stimuli, selon notamment leur pertinence par rapport à nos objectifs ; (2) la *certitude* représente le degré auquel la personne se sent ou non confiante dans ce qui est en train ou va se passer. Elle combine deux appréciations distinctes, « la violation de ses propres attentes passées et l'incertitude sur les futurs développements » (1985, p. 835) ; (3) *l'orientation attentionnelle* renvoie à la motivation d'orienter son attention vers le stimulus (fort intérêt) ou en dehors du stimulus (e.g., le dégoût) ; (4) l'effort anticipé représente le degré d'effort que nous sommes prêts à investir pour améliorer la situation ; le contrôle se divise en deux constructs orthogonaux, (5) le « contrôle responsabilité » renvoie au degré où le contrôle dépend de la personne plutôt que d'autres humains et (6) le contrôle situationnel renvoie au degré où la situation dépend d'un humain (quel qu'il soit) plutôt que par des circonstances incontrôlables (e.g., une tornade, un tremblement de terre). Les dimensions sous-tendant l'appréciation n'incluent donc pas seulement le caractère plaisant / déplaisant mais les autres dimensions. Or, l'heuristique d'affect part du principe que

---

<sup>1</sup> Ce chapitre reprend de larges extraits de l'article Raufaste, Cariou, Vautier, & Mullet (Soumis) et fera l'objet d'une communication plénière à la conférence « Risk, Decision and Human Error » à Rovereto (Trento, Italie) du 15 au 17 janvier 2004.

seuls les marques positives et négatives placées sur les images mentales comptent. Par conséquent, si la catégorisation « bien / pas bien » sous-jacente à l'heuristique d'affect est équivalente à la catégorisation « plaisant / déplaisant » dans le modèle de Smith et Ellsworth, alors l'heuristique d'affect est insuffisante pour prédire jugements et comportements !

#### **IV.3 Notre hypothèse : une information éthique plutôt qu'hédonique**

Lerner et Keltner (2000) ont critiqué les approches basées sur la valence, mais leur conception de la valence correspond en fait à la dimension plaisir / déplaisir de Smith et Ellsworth. Selon ces derniers, « la dimension plaisir regroupe les émotions en bonnes et mauvaises, mais ne nous emmène guère plus loin » (p. 835). Nous défendons l'idée que le plaisir n'est qu'un des déterminants du processus qui groupe les émotions en sentiments bons ou mauvais. La dimension plaisir / déplaisir est essentiellement un concept hédonique insuffisant pour décider de ce qu'il faut faire. Au contraire, la dimension Bien / mal est un concept éthique, destiné à nous informer sur ce qui doit être fait ou non. La différence est cruciale pour le jugement et la décision. Quelque chose peut être très déplaisant ET très bien (e.g., des situations où quelqu'un supporte une douleur horrible pour sauver la vie d'autrui). Inversement, quelque chose peut être très plaisant en soi mais globalement très mal. *La principale idée que nous avançons ici est que les sentiments de bien / mal représentent le niveau de l'information affective prise en compte par l'heuristique d'affect. Ces sentiments résultent de l'intégration --en un construct bipolaire univarié-- de plusieurs dimensions de l'affect, la dimension hédonique n'étant que l'une de ces dernières.* L'heuristique d'affect ne peut donc être réduite à une base seulement hédonique et les jugements et décisions basés sur l'heuristique d'affect sont pleinement compatibles avec le fait que la colère réduit la perception du risque tandis que la peur accroît le risque perçu.

#### **IV.4 Situation d'étude : Le vote aux élections présidentielles.**

Les gens se déterminent aux élections présidentielles sur la base des caractéristiques personnelles des candidats plutôt que sur leurs programmes ou politiques. Schultz et Pancer (1997) ont trouvé que l'intégrité perçue du candidat était le déterminant le plus important des jugements de « favorabilité ». Le niveau de sophistication du votant influence la diversité des indices utilisés dans le choix (e.g., Moon, 1990) mais le poids relatifs donné aux caractéristiques personnelles des candidats comparé à des caractéristiques « plus politiques » comme le programme ou les enjeux politiques n'est pas modifié par le niveau de sophistication (Rahn et al., 1994).

Le comportement politique est généralement déterminé de façon heuristique (Tetlock, 1993). L'heuristique peut-être la plus simple pour un humain consiste à suivre ses habitudes (par exemple, voter pour le même candidat, parti ou programme). Selon Marcus et al. (2000), les individus tendent à suivre leur habitudes politiques et leur niveau d'anxiété qui déterminerait cette tendance : les gens peu anxieux tendraient à

suivre leurs habitudes tandis que les gens plus anxieux tendraient plus à considérer de nouvelles options. Il a aussi été soutenu que les votants aux élections présidentielles activeraient un prototype de ce qu'est un « président exemplaire », et apparieraient ce prototype à leurs représentations des candidats (Kinder et al., 1980). Ainsi, les votants jugeraient que A est un bon candidat ou choisiraient A dans la mesure où A ressemble à la représentation d'un bon président. Il s'agit d'un cas particulier de l'heuristique de représentativité (Tversky & Kahneman, 1982a). Haddock (2002) a rapporté un effet de l'heuristique de disponibilité (Tversky & Kahneman, 1973) sur les jugements de favorabilité à propos du 1<sup>er</sup> ministre anglais, Tony Blair. Toutefois cet effet n'était significatif que chez les individus faiblement intéressés par la politique.

Enfin, on sait depuis longtemps que l'affect joue un rôle dans le jugement politique (e.g., Laswell, 1930). Les réactions affectives peuvent avoir un effet sur le jugement politique (e.g., Abelson et al., 1982; Ottati & Wyer, 1993). Kinder (1994) a montré l'influence de certaines émotions de base comme la fierté, la colère, la peur, l'espoir, etc., sur l'attitude envers les candidats, mais aussi envers des enjeux (e.g., l'« affirmative action » aux USA) ou des événements politiques (la guerre du Golfe, 1991).

Compte tenu de ces données, l'élection présidentielle semble être une situation idéale pour étudier l'heuristique d'affect.

#### IV.5 Théorisation de l'heuristique d'affect et hypothèses

Le fonctionnement de l'heuristique d'affect décrite par Finucane et al. (2000) puis Slovic et al. (2002) est resté sous spécifié. Nous proposons de la préciser ici. Nous assumons (1) que les appréciations cognitives et affectives d'un objet à évaluer (e.g., un candidat) se combinent en une représentation sémantique n-dimensionnelle de cet objet<sup>1</sup> ; (2) Les représentations n-dimensionnelles sont automatiquement projetées sur un axe unidimensionnel bien / mal. Nous appellerons « **projection éthique** » cette projection. Dans le processus de projection, un poids supérieur est donné aux dimensions pertinentes de la représentation; (4) Les appréciations affectives chargent la représentation sémantique, attirant ce faisant l'attention vers les dimensions affectivement pertinentes de la représentation (Smith & Ellsworth, 1985).

**L'heuristique d'affect** consiste alors à utiliser la projection éthique comme information d'entrée du jugement et de la décision. Sous l'heuristique d'affect, le choix consiste à retenir l'option ayant la plus forte valeur en direction du « bien », ou la plus faible valeur dans la direction du « mal » si aucune bonne option n'est disponible.

*Hypothèses concernant la relation entre projections éthiques et variables dépen-*

---

<sup>1</sup> Dans une approche comme celle de l'analyse sémantique latente (Landauer & Dumais, 1997), les représentations sémantiques sont typiquement résumées en 100 à 400 dimensions.



dantes. Les postulats précédents impliquent que l'heuristique d'affect sera largement influencée par les dimensions de l'évaluation affective. Et puisque l'heuristique d'affect est censée être utilisée dans les processus de jugement et de décision, les dimensions affectives de l'évaluation devraient influencer les jugements de risque et de bénéfice associés à un candidat, ainsi que le choix du candidat. Plus précisément.

H1 : la projection éthique d'un candidat chargera positivement les jugements de bénéfices associés à ce candidat, et négativement les jugements de risque.

H2 : la projection éthique d'un candidat chargera positivement le vote en faveur de ce candidat.

En résumé, deux représentations projetées sur l'axe éthique (celle du sortant et celle du challenger) sont supposées déterminer cinq variables dépendantes : les jugements de risque et de bénéfice sur le sortant, les jugements de risque et de bénéfice sur le challenger, et le choix.

*Hypothèses concernant le processus de projection.* Nous faisons l'hypothèse que les dimensions affectives selon Smith et Ellsworth (1985) concentrent une part importante de l'activation totale du système cognitif, ce qui dans notre modèle général (cf. chapitre III) a pour effet de rendre disponible l'information associée. Par suite,

H4. La projection éthique sera positivement corrélée avec les jugements relatifs à chacune des dimensions de Smith et Ellsworth (1985), sauf dans le cas de la dimension effort où la corrélation devrait être négative (car dans ce cas, faire plus d'effort est généralement moins bien, toutes choses égales par ailleurs).

## IV.6 Méthode

Un questionnaire a été rempli par un échantillon d'étudiants dans les deux semaines juste avant le premier tour de l'élection présidentielle français de 2002 en demandant aux sujets d'imaginer que Jacques Chirac et Lionel Jospin avaient gagné le premier tour<sup>1</sup>. Les projections éthiques, une pour chaque candidat ont été construites comme des variables latentes dans un modèle structurel. Chaque indicateur de la projection éthique était construit comme une question liée à l'une des dimensions de Smith et Ellsworth (à l'exception toutefois de la dimension contrôle-responsabilité). Le modèle de mesure émergeant de ces items était ensuite fixé et les cinq variables dépendantes étaient introduites seulement ensuite.

**Participants**<sup>2</sup>. 450 étudiants ont été volontaires (149 hommes, 288 femmes et 13 personnes qui n'ont pas fourni les informations de sexe. L'âge moyen était de 21.8 (SD = 3.5).

**Matériel et procédure.** Après les informations personnelles, dix questions permettaient d'évaluer la représentation des deux candidats. Pour chaque candidat 5 questions servaient à évaluer chacune une dimension de l'affect : valence, certitude, orientation attentionnelle, effort, et contrôle situationnel. Les réponses étaient données sur des échelles en 11 points. Venait ensuite un bloc de questions pour évaluer les jugements de risque et bénéfice, et enfin

---

<sup>1</sup> On sait ce qu'il en a été mais cela n'affecte en rien la validité de l'étude.

<sup>2</sup> Il s'agit du même échantillon que celui ayant servi pour la modélisation de l'optimisme.

venait la question sur le choix, avec trois options, Chirac, Jospin, ou abstention.

**Analyse.** Après élimination des données des outliers uni et multivariés, 431 observations ont été utilisées. Une modélisation structurale en 2 étapes (Anderson & Gerbing, 1988) a été réalisée. Dans la première étape, seul le modèle de mesure dérivé de nos hypothèses, augmenté des corrélations d'erreurs liées à la méthode a été ajusté aux données. Un ensemble de paramètres a été obtenu. Dans une seconde étape, le modèle de mesure étant fixé aux valeurs obtenues dans l'étape 1, les variables dépendantes (jugements de risque et bénéfice, choix) étaient introduites. Ainsi les indices d'ajustement du modèle de mesure n'ont pas capitalisé sur les variables dépendantes. La méthode robuste ML de EQS a été utilisée. La fidélité a été évaluée par le  $H$  de Hancock et Mueller (2001) et les intervalles à 95% de confiance de  $H$  ont été construits par bootstrapping (1000 répliquions), en retenant les 2.5èmes et 97.5èmes percentiles. La parcimonie a été évaluée par l'indice AIC et le  $\chi^2$  robuste normé.

#### IV.7 Résultats avant re-spécification du modèle

**Étape 1 : Ajustement du modèle de mesure.** Sans être franchement mauvais, l'ajustement initial du modèle de mesure était médiocre,  $\chi^2(29, N = 431) = 97.44$ ,  $p < .001$ , NFI = .95, CFI = .96 et  $CI_{RMSEA} = [.058, .091]$ . L'intervalle de confiance de  $H$  était [.80, .86] pour les deux projections éthiques, celle concernant Chirac et celle concernant Jospin. Tous les loadings et toutes les variances d'erreurs étaient significatives ( $|t_s| > 8.15$ ;  $p_s < .001$ ) et il y avait une faible corrélation négative significative entre les deux projections éthiques,  $r(430) = -.13$ ,  $p < .001$ .

**Étape 2 : Ajout des variables dépendantes.** Les indices d'ajustement étaient très médiocres,  $\chi^2(107, N = 431) = 681.34$ ,  $p < .001$ , NFI = .80, CFI = .82,  $CI_{RMSEA} = [.10, .12]$ . Tous les loadings étaient significatifs ( $|t_s| > 12.52$ ;  $p_s < .001$ ). Il y avait une légère corrélation significative entre les jugements de risque et bénéfice d'un même candidat mais cette corrélation était positive. Au total, le modèle expliquait un peu plus de 30% de la variance des jugements de risque (30.6% pour Chirac et 33.3% pour Jospin, respectivement), environ 50% de la variance des jugements de bénéfice (52.3% pour Chirac et 48.9% pour Jospin, respectivement), et 54.2% de la variance des votes.

#### IV.8 Discussion des résultats avant re-spécification du modèle

L'ajustement du modèle avant re-spécification n'était pas satisfaisant : les indices d'ajustement étaient médiocres, la variance expliquée faible, et la corrélation entre les jugements de risque et bénéfices étaient en direction opposée de celle attendue.

Le processus de re-spécification a été conduit sous l'hypothèse qu'un facteur non spécifique à la représentation des candidats manquait, lié à la représentation du pouvoir (puisque tel est l'enjeu des élections présidentielles). Deux hypothèses concurrentes ont été introduites : une hypothèse selon laquelle le troisième facteur, nommé « pouvoirs incontrôlés » traduirait un mouvement croissant de désaffection vis-à-vis de la politique, c'est-à-dire avec l'idée que le pouvoir des présidents est bridé par le pouvoir économique. Selon l'interprétation concurrente, en termes de « pouvoir présidentiel », les évaluations des candidats se feraient en relation avec une image du

pouvoir associé à la fonction présidentielle, indépendamment de la personne qui l'occupe. Ces deux hypothèses conduisaient à des prédictions précises :

(1) puisque non spécifiques à un candidat, les loadings doivent être symétriques (i.e., tout loadings d'un item spécifique à un candidat doit avoir son correspondant sur l'item correspondant pour l'autre candidat) ;

(2) les loadings du nouveau facteur sont tous négatifs sous l'interprétation « pouvoirs incontrôlés » et tous positifs sous l'interprétation du « pouvoir présidentiel » ;

(3) Puisque le nouveau facteur détermine la représentation de la capacité réelle d'action du futur président, quel qu'il soit, il devrait influencer les jugements de risque et de bénéfice, de la même manière pour les deux candidats, et dans le même sens pour les jugements de risque et de bénéfice d'un même candidat.

(4) le nouveau facteur devrait charger la mesure de certaines dimensions affectives (e.g., moins la fonction présidentielle est puissante, moins on peut faire confiance aux candidats dans la réalisation de leurs promesses). Sans entrer ici dans le détail de la justification, les relations attendues par rapport au nouveau facteur concernaient la certitude (confiance), l'orientation attentionnelle, l'effort et le contrôle.

#### IV.9 Résultats du modèle re-spécifié

**Étape 1 : Ajustement du modèle de mesure.** Tous les loadings sont compatibles avec l'interprétation du nouveau facteur en termes de « pouvoir présidentiel », c'est-à-dire que tous les loadings sont positifs. L'ajustement du modèle de mesure est maintenant correct,  $\chi^2(21, N = 431) = 62.45$ ,  $p < .001$ , NFI = .97, CFI = .98 et  $CI_{RMSEA} = [.049, .087]$ . Toutefois, deux loadings du nouveau facteur « pouvoir présidentiel » n'étaient pas significatifs. Le modèle a donc été re-spécifié en retirant ces loadings. Deux corrélations d'erreurs ont aussi pu être retirées du modèle. Avec cette nouvelle solution, les indices d'ajustement sont devenus bons,  $\chi^2(25, N = 431) = 64.17$ ,  $p < .001$ , NFI = .96, CFI = .98 et  $CI_{RMSEA} = [.042, .079]$ . Les intervalles de confiance de  $H$  (à 95%) étaient [.80, .86] pour les deux projections éthiques, Chirac et Jospin, et [.33, .50] pour le pouvoir présidentiel. Tous les loadings étaient significatifs ( $|t_s| > 6.12$ ;  $p_s < .001$ ) et il y avait une corrélation négative faible mais significative entre les deux projections éthiques,  $r(430) = -.17$ ,  $p < .001$ .

**Étape 2 : Ajout des variables dépendantes.** Les paramètres du modèle de mesure ont été fixés avant l'ajout des variables dépendantes dans le modèle (Figure V.4).

Les indices d'ajustement étaient nettement meilleurs qu'avant la re-spécification, avec des valeurs acceptables,  $\chi^2(103, N = 431) = 348.17$ ,  $p < .001$ , NFI = .90, CFI = .92,  $CI_{RMSEA} = [.066, .083]$ . Le  $\chi^2$  normé est passé de 6.37 dans le modèle initial à 3.38 dans le modèle re-spécifié. Bien qu'un facteur ait été ajouté, cela n'a pas coûté de parcimonie car le AIC est passé de 467.33 à 142.17 dans le nouveau modèle. Tous les loadings étaient significatifs ( $|t_s| > 11.48$ ;  $p_s < .001$ ). Les loadings des facteurs Chirac et Jospin sur les jugements de risque étaient négatifs, et positifs sur les

jugements de risque. Conformément à l'interprétation du nouveau facteur comme « pouvoir présidentiel », tous ses loadings étaient positifs.

Il y avait une légère corrélation significative négative entre les jugements de risque et bénéfice d'un même candidat. Le modèle expliquait très bien la variance des jugements de risque (67.8% pour Chirac et 66.6% pour Jospin, respectivement), et de bénéfice (67.0% pour Chirac et 70.1% pour Jospin, respectivement), et 51% de la variance sur le vote. Cela étant, dans cette étude le choix a été traité comme une variable numérique, (Chirac = 1 ; Abstention = 2 ; Jospin = 3), ce qu'elle n'est fondamentalement pas. Il faut donc prendre cette donnée d'une manière purement indicative. Pour le lecteur qui voudrait ignorer complètement la variable choix, une autre version du modèle a été exécutée, sans le choix. Les indices d'ajustement dans cette version sont aussi bons :  $\chi^2(90, N = 431) = 289.07$ ,  $p < .001$ , NFI = .90, CFI = .93,  $CI_{RMSEA} = [.062, .081]$ ,  $\chi^2$  normé = 3.21 et AIC = 109.07.

#### **IV.10 Discussion**

Nous avons montré qu'en combinant en une dimension « éthique » bipolaire univariée les appréciations de cinq dimensions du cadre de Smith et Ellsworth (1985), le modèle explique une part importante de la variance sur les jugements de risque et de bénéfice. On retrouve une corrélation négative entre les risques et bénéfice comme prédit par l'heuristique d'affect. Pris ensemble, ces résultats suggèrent que l'heuristique d'affect est capable de capturer des appréciations affectives sophistiquées. Cette capacité passerait par la projection sur une dimension éthique combinant de multiples aspects de l'évaluation affective, et pas seulement la dimension hédonique dont Lerner et Keltner ont montré l'insuffisance à rendre compte pleinement du jugement et du choix.

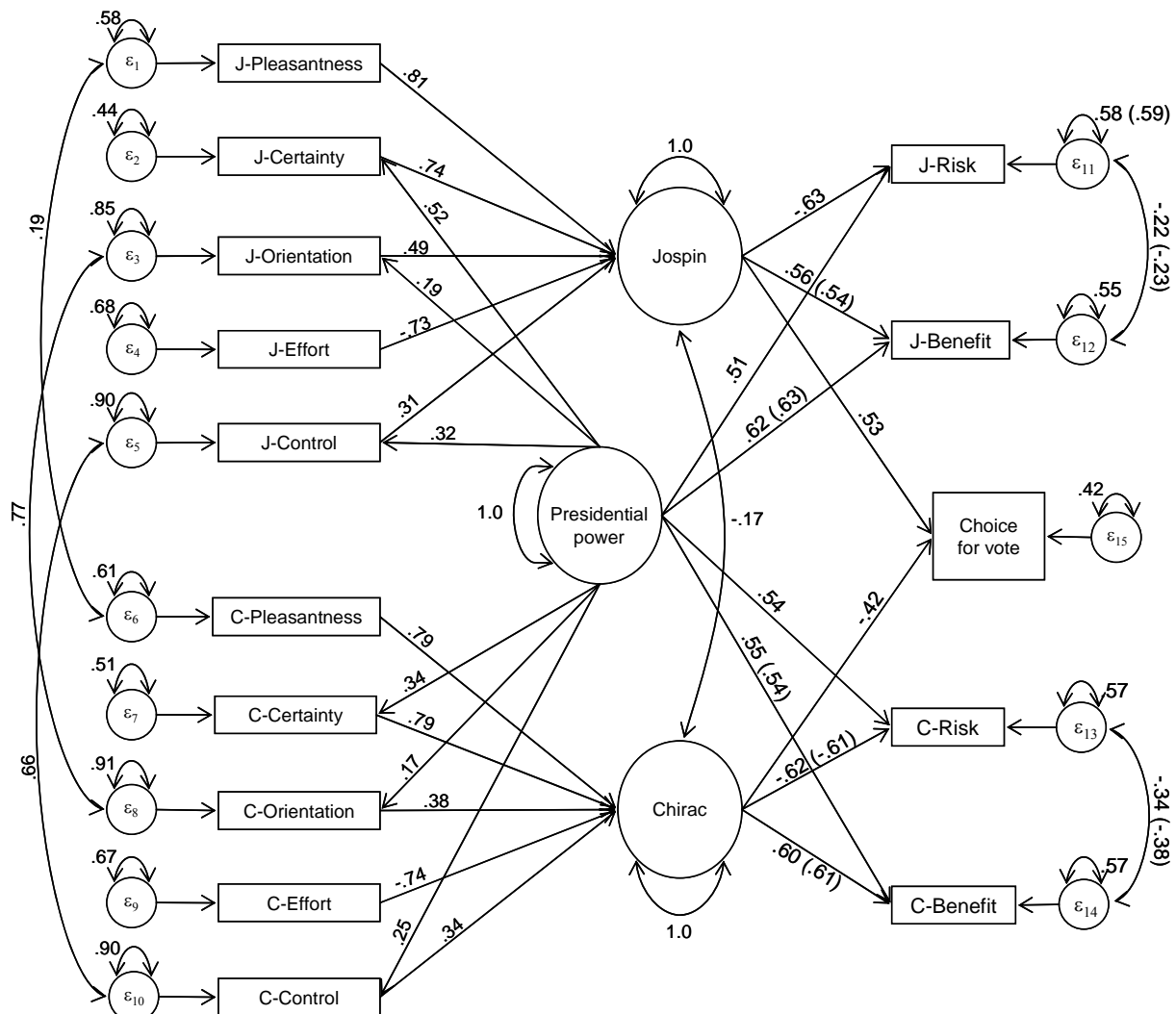
### **V. CONCLUSION SUR LA VALEUR DE PERTINENCE**

Dans ce chapitre, nous avons évoqué divers problèmes liés à une conception où l'affect détermine l'utilité, et où l'affect sert d'information d'entrée à des heuristiques qui capturent l'utilité espérée des objets à évaluer dans une situation donnée. Nous avons abordé le problème que pose la question de la bidimensionnalité de l'affect à ces conceptions. Nous avons montré que l'optimisme dispositionnel échappe probablement à cette critique. Nous y avons apporté deux solutions originales, la bipolarité dynamique d'une part, et la projection éthique d'autre part.

Avant de conclure, il reste la question de la compatibilité entre la modélisation de l'affect et notre modèle général. En fait cela ne pose pas de problème a priori car l'affect peut être encodé dans le réseau comme n'importe quelle autre information soit sous la forme de nœuds spécifiquement dédiés à des émotions spécifiques (e.g., Bower, 1981, 1992), soit sous la forme d'une modulation par le système affectif des valeurs d'activations (e.g. Kitayama & Howard, 1994 ; Thagard & Nerb, 2002).

Au total, nous avons de bonnes raisons de penser que notre modèle permet de mo-

déliser les processus de génération de pertinence, que ceux-ci concernent la facette incertitude ou la facette utilité de la pertinence.



**Figure V.4 : La projection éthique comme source du jugement et du choix**

Les variables latentes sont cerclées tandis que les items mesurés sont dans les rectangles. Les traits entre variables latentes sont des corrélations. \* = ns. Tous les paramètres sont standardisés. Les chiffres entre parenthèses représentent les valeurs obtenues dans le modèle « jugement seulement », c'est-à-dire en ne prenant pas le choix comme VD.

\* \* \*

Nous pouvons maintenant passer au dernier volet de ce bilan : l'optimisation de la valeur de flexibilité.

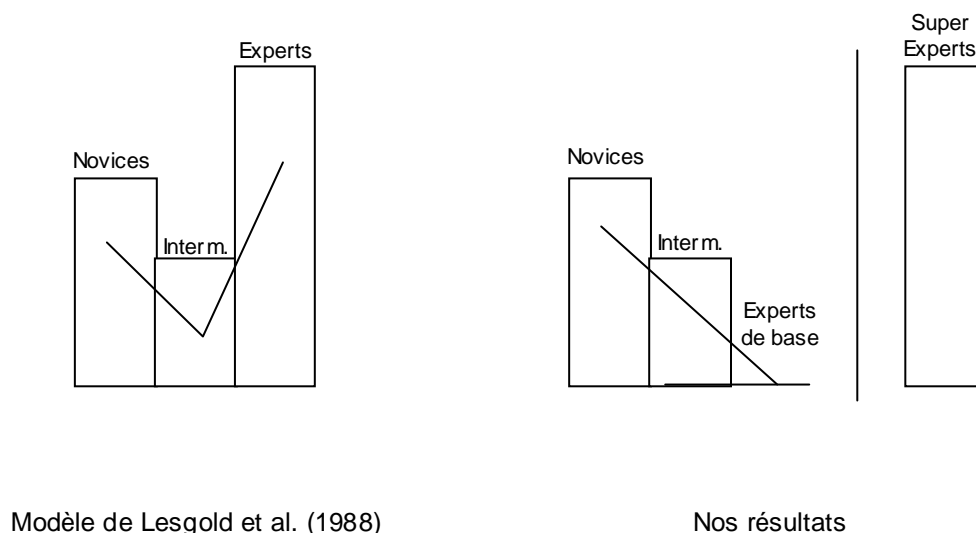
## CHAPITRE VI : OPTIMISATION DE LA FLEXIBILITE

La flexibilité cognitive peut être définie comme "la capacité d'une personne à modifier son mode ou sa direction de pensée, en fonction d'une tâche changeante ou de contraintes situationnelles, de façon à optimiser l'accord entre les demandes situationnelles et la résolution de son problème" (Frensch & Sternberg, 1989, p. 163). Cet ajustement peut prendre deux formes : ajuster la représentation aux données ou ajuster les données à la représentation. Après avoir exposé les liens entre performance, flexibilité et mode de contrôle de l'activité cognitive, nous présenterons l'extension que nous avons faite de notre modèle initial afin de rendre compte de l'ajustement de la représentation. Nous terminons avec une première investigation exploratoire d'un autre type de flexibilité : l'ajustement des données à la représentation mentale.

### I. EXPERTISE ET LA FLEXIBILITE COGNITIVE

#### I.1 Deux types d'expertises qualitativement différentes

Les intermédiaires produisent parfois des diagnostics moins précis que ceux des novices, ce que Lesgold et al. (1988) ont essayé d'expliquer par un modèle d'inspiration développementale comportant trois étapes dans l'acquisition d'expertise (Figure VI.1, partie gauche). La baisse temporaire de performance chez les intermédiaires était attribuée à un conflit entre traitements cognitifs et perceptuels.

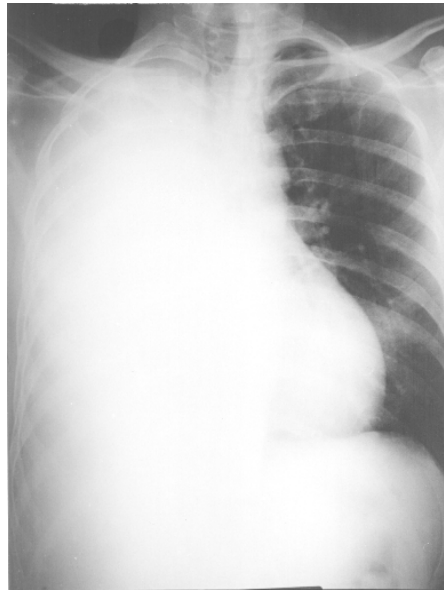


**Figure VI.1 : Réinterprétation de la courbe de Lesgold et al. (1988)**

Le diagramme de gauche montre le point de vue de Lesgold (acquisition non monotone). Il peut être reconstruit à partir de nos données si les experts de base sont retirés et que les super experts sont intégrés dans la courbe. Le diagramme de droite montre notre propre point de vue (acquisition monotone) : Les experts de base sont représentatifs de la population des radiologues, pas les super experts.

Nos propres résultats ont montré que des anomalies saillantes (e.g., la grande

plage blanche sur la figure, Figure VI.2) conduisent à un accroissement monotone de la courbe de performance avec l'expérience.



**Figure VI.2 : Le cliché de pneumonectomie : une anomalie saillante + une cachée**

Des traits peu saillants (e.g., un kyste hydatique très peu visible sous la plage blanche, Figure VI.2) conduisent à une courbe de performance en U. L'élément important tient à ce que l'apparente non monotonie résulte de la présence d'un groupe de super experts : si nous avions considéré trois groupes seulement, sans experts de base, nous aurions trouvé les mêmes résultats que ceux de l'étude de Lesgold et al.(1988) (Figure VI.1, partie droite). Nous pensons que les super experts représentent une expertise d'une autre nature que les experts de base, les intermédiaires et les novices.

L'expertise est parfois considérée comme l'utilisation accrue de « l'intuition » (Dreyfus & Dreyfus, 1986 ; Hogarth, 2001), c'est-à-dire des traitements automatiques. On peut au contraire la considérer comme une capacité supérieure à procéder de manière plus flexible et plus délibérée. Les courbes d'acquisition de l'expertise de base (novices, intermédiaires, et experts de base) sont compatibles avec des modèles où l'acquisition d'expertise est un processus graduel d'automatisation (e.g., Anderson 1983, 1992; Sternberg & Frensch, 1992) : avec les traits saillants et typiques, la performance est monotone croissante, et avec les traits atypiques ou très peu visibles la performance est monotone décroissante. Ce résultat est d'ailleurs compatible avec nos résultats qualitatifs montrant que les experts de base ont utilisé un type de traitement délibéré limité au test d'hypothèses diagnostiques et à l'ajustement des schémas. Toutefois, la chaîne de raisonnement la plus longue était en moyenne de 6.0 pas d'inférence chez les super experts contre 2.9 chez les novices. Ensuite, les super experts ont fait montre d'une stratégie clairement délibérée et systématique et ne procèdent donc pas seulement « par intuition ».

## **I.2 Des différences de flexibilité cognitive**

Pourquoi nos experts de base ont-ils tous échoué à détecter une anomalie (le kyste hydatique) remarquée par les intermédiaires, et même par les novices ? Leurs habiletés perceptuelles plus avancées auraient dû leur donner une meilleure chance de détection. Deuxièmement, pourquoi les super experts n'ont-ils pas raté cette anomalie ?

Berbaum et ses collègues (1990) rapportent que le fait d'avoir préalablement détecté des anomalies relatives à un diagnostic spécifique peut accroître la difficulté de détecter des anomalies ayant trait à des diagnostics différents, ce qu'ils ont appelé le phénomène de « Satisfaction Of Search » (SOS), le phénomène de satisfaction de la recherche. En utilisant le suivi des mouvements oculaires, Samuel et al. (1995) ont trouvé que les SOS surviennent quand l'attention est capturée par une première anomalie détectée. Une autre explication implique l'utilisation d'une stratégie de recherche dirigée par les schémas. L'analyse des protocoles verbaux a montré qu'une telle stratégie a été utilisée par tous les experts de base de notre étude. En étudiant l'intégration des données cliniques dans le diagnostic radiologique, Norman et al. (1992) ont trouvé que les sujets font appel aux indices en fonction des catégories attendues. Or, dans notre cliché, le kyste hydatique pouvait difficilement être attendu. Les experts de base semblent donc avoir été victimes de leurs automatismes.

L'explication la plus immédiate du fait que les super experts n'ont pas échoué à détecter le kyste hydatique serait de tout attribuer à de meilleures habiletés perceptuelles. Mais alors les experts de base auraient produit une meilleure performance que les internes. Bien que l'on ne puisse avoir une totale certitude à ce sujet, il paraît donc raisonnable de conclure que les super experts ont su dépasser les automatismes tandis que les experts de base en ont été victimes : la différence de performance en faveur des super experts peut être attribuée à une meilleure flexibilité cognitive.

## **I.3 Pratique délibérée et types d'expertises**

On peut alors se demander d'où vient cette meilleure flexibilité cognitive, c'est-à-dire chercher à comprendre comment les super experts acquièrent cette capacité à se distancier de leurs automatismes. Nous proposons une explication basée sur les différences de pratique professionnelle quotidienne. Les experts de base doivent produire le meilleur diagnostic possible, dans un temps limité. Au fur et à mesure que le travail devient familier, les traitements qui requièrent un haut niveau d'attention consciente sont de moins en moins nécessaires aux experts de base. Au contraire, les super experts ne sont pas seulement des praticiens en radiologie, mais aussi des enseignants, ce qui implique une capacité à observer, justifier, et décrire explicitement les méthodes conduisant à des diagnostics justes. Les super experts sont aussi des chercheurs. Cela signifie qu'ils doivent consacrer un effort conscient à expliciter leurs résultats afin de les publier dans des revues scientifiques. Enfin, les super experts voient habituellement des cas beaucoup plus complexes que les autres radiologues. Il



leur est souvent demandé conseil au sujet de clichés difficiles ou atypiques. Ainsi, leurs attributions et pratiques professionnelles les entraînent à maintenir de hauts niveaux d'attention dans leurs activités diagnostiques, et à organiser et expliquer l'information à laquelle ils sont confrontés. Leur niveau d'attention habituellement plus haut peut les protéger partiellement contre le phénomène de SOS.

Il y a plus d'un siècle, Bryan et Harter (1897) avaient montré que les opérateurs de code Morse atteignaient normalement un plateau au cours de leur acquisition d'expertise, mais que leur performance pouvait encore s'accroître avec un effort délibéré. Selon Ericsson et al. (1993), la "performance éminente" est directement reliée à la quantité de pratique délibérée dédiée à l'atteinte de ce but. Au vu de ce que nous avons exposé plus haut, il est probable qu'une proportion significative de l'activité quotidienne des super experts constitue de la pratique délibérée.

#### **I.4 Deux modes de contrôle de l'activité cognitive**

De nombreux modèles, en psychologie cognitive (cf. Sloman, 1996) mais aussi en psychologie sociale (cf. Chaiken & Trope, 1999), distinguent un mode de traitement automatique, intuitif, fonctionnant en parallèle, et un mode attentionnel, séquentiel délibéré, plus lent mais permettant le calcul symbolique. Une idée fondamentale derrière les conceptions actuelles du contrôle (voir Mazzoni & Nelson, 1998) est qu'une multitude de sous-systèmes, « modules » ou « processeurs » sont en compétition pour guider le comportement (les auteurs parlent de « planification compétitive »), et qu'une instance externe à ces modules vient arbitrer la compétition en modulant les poids respectifs des compétiteurs : certains peuvent être inhibés, d'autres activés. Nous retiendrons ici l'idée d'un sous-système spécifiquement dédié à la régulation de la compétition entre les modules qui fonctionnent en parallèle. En suivant Norman et Shallice (1986), ce sous-système sera appelé « Système Attentionnel Superviseur » ou SAS. Les modules fonctionnant en parallèle peuvent être aussi bien des schémas déclaratifs que procéduraux. On distinguera deux modes de contrôle, schématique et attentionnel (cf. Reason, 1993), selon que ce contrôle mobilise ou non le SAS.

Selon Norman et Shallice, les situations qui requièrent la mise en œuvre du SAS sont (1) les situations qui impliquent la planification ou la prise de décision; (2) les situations de correction d'erreur; (3) les situations impliquant la mise en œuvre de réponses ou d'actions nouvelles; (4) les situations difficiles ou dangereuses; et enfin (5) les situations qui impliquent une conduite de détour ou l'inhibition d'un comportement habituel. Ainsi, l'expert peut habituellement se satisfaire d'un contrôle schématique, mais face à un cas non familier il devra passer en mode attentionnel.

Dans notre optique, la performance est finalisée par l'ajustement des comportements à la double contrainte que représentent l'environnement et les objectifs du sujet. L'expert est celui qui optimise cet ajustement. Puisque l'expérience développe des automatismes, il est normal qu'elle induise une réduction globale de la nécessité du

mode attentionnel. En revanche, les domaines complexes présentant de nombreux cas où les automatismes s'avèrent insuffisants, l'expert doit aussi pouvoir remettre en cause ses automatismes le cas échéant, et donc adopter avec flexibilité un mode de contrôle schématique ou attentionnel.

### **I.5 Mécanismes du passage au mode attentionnel**

La principale motivation à passer au mode schématique de contrôle est la réduction de l'effort cognitif. En effet, les processus automatiques sont rapides et peu coûteux cognitivement. De ce fait, l'adoption du mode schématique est naturelle dès lors que les automatismes semblent suffisants pour gérer efficacement la situation. Une architecture cognitive comme ACT-R (Anderson, 1993; Anderson & Lebiere, 1998) inclut directement cette motivation dans le processus de sélection des opérations mentales : *ceteris paribus*, les règles les moins coûteuses tendent à être sélectionnées. Puisque la flexibilité cognitive est essentiellement le fait du mode attentionnel, la vraie question est celle du passage à ce mode de contrôle, malgré son coût cognitif élevé. Hoc et al. (1995) écrivent que le cœur de modèle des activités de diagnostic est « la gestion du risque et le niveau de compréhension de la situation » (p. 36). Nous partageons cette conception d'une double motivation, l'une d'ordre affectif et l'autre d'ordre cognitif.

#### Motivation d'origine affective

La gestion du risque a déjà été repérée comme un motivateur puissant. Par exemple, Sébillotte (1984) note qu'en diagnostic de surveillance de grossesse "éviter les risques graves (...) apparaît comme l'objectif principal" (p. 276). De fait, un risque est présent dans la plupart des situations de travail, soit directement, à travers les conséquences physiques des erreurs potentielles, soit indirectement, à travers les conséquences des actions sur l'évolution de carrière, la rémunération, le jugement des pairs, etc. L'objectif de gestion des risques peut être pris comme un élément déterminant de l'orientation de l'attention. Divers travaux suggèrent que les affects déterminent le mode de traitement de l'information. Dans l'approche du *feeling-as-information* (e.g., Schwarz & Clore, 1983; 1996), les sentiments affectifs sont utilisés pour déterminer le niveau d'investissement attentionnel. L'idée est qu'un sentiment affectif positif signale que les choses se passent plutôt bien et qu'il n'est pas nécessaire d'intervenir sur le déroulement des processus cognitifs. Au contraire, un sentiment négatif est interprété comme le signal que quelque chose se passe mal. Par suite, un sentiment affectif positif tend à favoriser l'adoption ou le maintien d'un mode schématique de contrôle, tandis qu'un sentiment négatif tend à favoriser l'adoption d'un mode attentionnel de contrôle. De nombreuses expériences faites dans le cadre de la théorie du feeling-as-information confirment cette hypothèse, tout en montrant que l'on peut supprimer totalement ces effets en incitant les sujets à réaliser que leur affect n'est pas pertinent pour la tâche en cours. Ainsi ces travaux montrent claire-

ment que l'affect est déterminant pour la régulation de mode de contrôle de l'activité cognitive.

### Motivation d'origine cognitive

Un traitement attentionnel peut aussi être déclenché par la perception d'une incohérence relative à la représentation : par exemple une incompatibilité entre, d'une part la représentation de l'objectif, et d'autre part la représentation de la situation et des moyens d'atteindre l'objectif. Selon Patel et Groen (1991), les faits que le diagnosticien échoue à intégrer dans la structure d'ensemble signeraient ainsi une rupture de cohérence, activant de ce fait des raisonnements en vue de la restaurer.

Des processus inconscients peuvent aussi signaler au conscient la présence d'une incohérence. Le conscient perçoit ces feed-backs sous la forme de sentiments. Un premier sentiment peut provenir de la détection du blocage d'un schéma. Rappelons que les schémas sont en compétition sur la base de leur niveau d'activation. Selon Norman et Shallice (1986), un schéma peut être bloqué du fait qu'il requiert une ressource non partageable en cours d'utilisation par un autre schéma plus fortement activé. Selon Holyoak (1991), certains états du réseau dans lequel les unités actives s'inhiberaient mutuellement seraient reconnus comme des contradictions, déclenchant un état qu'il appelle "perplexité". Selon Thagard : « Une proposition (...) est acceptée si elle fait partie de la meilleure coalition en compétition et ses rivales sont rejetées. L'incertitude consiste en l'absence d'un vainqueur nettement dessiné » (1989, p. 439). Autrement dit, le manque de cohérence se traduit par un sentiment d'incertitude.

En résumé, ces travaux mettent en évidence au moins deux facteurs subjectifs majeurs de l'adoption d'un mode attentionnel de contrôle : la présence d'un affect négatif et la détection consciente d'une incohérence dans la représentation. Voyons maintenant comment inclure cela dans notre modèle.

## **II. EXTENSION DU MODELE A LA FLEXIBILITE COGNITIVE<sup>1</sup>**

Notre modèle théorique initial n'était pas suffisant pour rendre compte de la flexibilité puisqu'il s'appuyait entièrement sur les automatismes. Nous présentons ici une analyse originale de l'activité cognitive, suivie d'une exploration des mécanismes susceptibles de rendre compte de la dynamique de l'activité dans le diagnostic.

### **II.1 Une analyse théorique de l'activité cognitive**

Pour comprendre la flexibilité cognitive, il faut envisager les mécanismes susceptibles de modifier activement la distribution d'activation dans le réseau qui sous-tend la représentation. Or, ce qui modifie l'état du réseau, c'est avant tout la séquence des activités mentales, séquence que nous appellerons le « *flux cognitif* ». Le flux cogni-

---

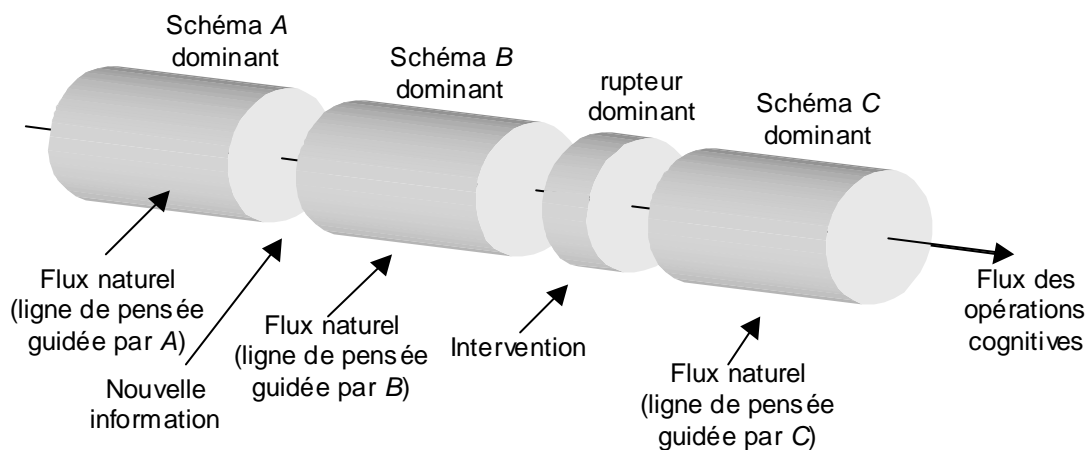
<sup>1</sup> Cette section a été publiée comme « long paper » dans les proceedings de la XXIème conférence de la Cognitive Science Society (Raufaste, 1999b).

tif dans le diagnostic est normalement guidé par le schéma dominant, c'est à dire qu'il résulte de l'exécution des règles procédurales associées au schéma déclaratif dominant. Nous définirons ainsi une « *ligne de pensée* » comme une séquence continue de flux cognitif guidée par un même schéma. Par exemple, un médecin effectue les investigations relatives à la gamme diagnostique qu'il considère comme plausible. Dans le contrôle du flux cognitif, deux types de comportements délibérés sont possibles : laisser ou non le flux cognitif se dérouler de façon autonome. Concrètement, l'expert peut exécuter ses routines mentales et pratiques habituelles ou bien chercher à s'en écarter. Nous définissons la notion « d'*intervention* », comme une opération par laquelle le système superviseur attentionnel modifie délibérément le déroulement spontané du flux cognitif. La flexibilité cognitive sera alors expliquée en relation au processus de déclenchement des interventions.

A partir de ces définitions, le flux cognitif se présente globalement comme une série de lignes de pensée pendant lesquelles le superviseur attentionnel surveille passivement l'exécution, ou y contribue activement. Cette série peut être entrecoupée d'interventions qui peuvent (mais pas nécessairement) changer le schéma dominant, induisant ainsi un changement de ligne de pensée. Des changements de lignes de pensée peuvent aussi être dus à l'arrivée imprévue de nouvelles informations (Figure VI.3). Par exemple lors d'un examen de routine, l'activité mentale se transforme radicalement si le médecin détecte une anomalie inquiétante.

Comment les interventions sont-elles déclenchées ? Toutes les causes d'intervention du système attentionnel que nous avons pu dégager dans les sections précédentes impliquent la prise en compte d'informations sur certains états internes. Il faut alors supposer que des parties du système cognitif soient tournées vers l'intérieur de celui-ci afin de l'observer fonctionner pour ensuite le guider. Le coeur de la présente extension du modèle est que les interventions sont déclenchées par des schémas particuliers : Nous nommerons « *rupteur* » un schéma qui, opérant une catégorisation sur les états mentaux, est capable d'activer une procédure d'intervention sur le flux cognitif. En d'autres termes, les interventions du superviseur attentionnel pourraient être déclenchées par des schémas spécifiques dans la base de connaissances. Les rupteurs étant définis comme des schémas généraux, ils sont a priori traités dans des réseaux différents de ceux qui gèrent spécifiquement une tâche donnée, mais un sujet peut associer des rupteurs avec certains états des réseaux spécifiques. Par exemple, un médecin pourra avoir appris à se méfier d'emblée de certaines situations même si, objectivement, rien ne semble discordant dans le cas qu'il a sous les yeux. Puisque, avec l'expérience, les rupteurs peuvent être associés à des connaissances spécifiques, la flexibilité cognitive de l'expert dépend de son activité professionnelle quotidienne : les diagnosticiens dont les automatismes suffisent généralement à gérer l'activité professionnelle ne manifesteront d'autre flexibilité cognitive que celle qui résulte de la possession d'une diversité d'automatismes capables de libérer les ressources atten-

tionnelles. Ceci correspond à l'expertise de base. Les diagnosticiens dont l'activité cognitive suppose une certaine distanciation avec les automatismes (super-experts), mettront en œuvre un autre type de flexibilité cognitive : celle qui résulte d'un recours plus systématique à des rupteurs généraux pour générer des interventions sur le flux cognitif. L'acquisition d'expertise pour les sujets qui ont besoin d'un recours important aux interventions (les super-experts) pourrait consister à apprendre à insérer des points de déclenchement des rupteurs au sein des procédures de traitement spécifiques du domaine d'expertise. Les procédures des experts de base, elles, ne seraient pas, ou seraient moins, associées avec des rupteurs.



**Figure VI.3 : Un découpage du flux des opérations cognitives**

A priori, les rupteurs peuvent repérer les états mentaux suivants : (1) les états de blocage du flux cognitif; (2) les indices de non cohérence dans la représentation, comme l'échec d'une tentative d'inférence de liaison; (3) les indices d'erreurs connues; (4) les signes connus pour indiquer des situations dangereuses, comme un sentiment de doute ou plus généralement un sentiment affectif négatif.

Nous postulons que les rupteurs ne sont pas déclenchables directement par l'information d'entrée, mais uniquement par des états mentaux d'origine interne (contenu de la représentation ou état général du système). Le sentiment qui correspond à l'activation d'un rupteur serait du type "Il y a quelque chose qui ne va pas". Nous poserons alors l'hypothèse que la présence d'une incohérence dans le réseau qui soutient l'hypothèse diagnostique dominante active les rupteurs par l'intermédiaire d'un sentiment d'incertitude ou de danger, et que les sujets tendent à gérer leur activité cognitive de manière à réduire ce sentiment.

## II.2 Résultats empiriques sur les interventions

Les verbalisations concomitantes du diagnostic reflètent le déroulement des opérations mentales, c'est-à-dire les fluctuations du flux cognitif. Puisque nous avons défini les interventions comme des interruptions du flux cognitif par le système superviseur

attentionnel, on devrait donc en trouver trace dans les verbalisations. En particulier, on devrait pouvoir observer des différences quantitatives suivant les différents niveaux et types d'expertise des sujets. L'expertise de base se traduit par une plus grande dépendance à l'égard des automatismes au fur et à mesure que l'expérience est acquise, tandis que les super-experts sont moins dépendants des automatismes, ce qui suppose une plus grande activité du système superviseur attentionnel. Cette observation implique deux prédictions : (1) puisque l'expertise de base est fondée sur les automatismes, et donc sur un mode schématique de contrôle, le nombre d'interventions devrait décroître de façon monotone au fur et à mesure que l'on passe de novice à intermédiaire, puis à expert de base. En effet, avec le développement des automatismes, la réflexion délibérée devient de moins en moins nécessaire; (2) Puisque la super-expertise est fondée sur un poids plus important du contrôle attentionnel permettant une plus grande flexibilité cognitive, on devrait repérer un nombre d'interventions plus élevé dans les protocoles des super-experts que dans ceux des experts de base.

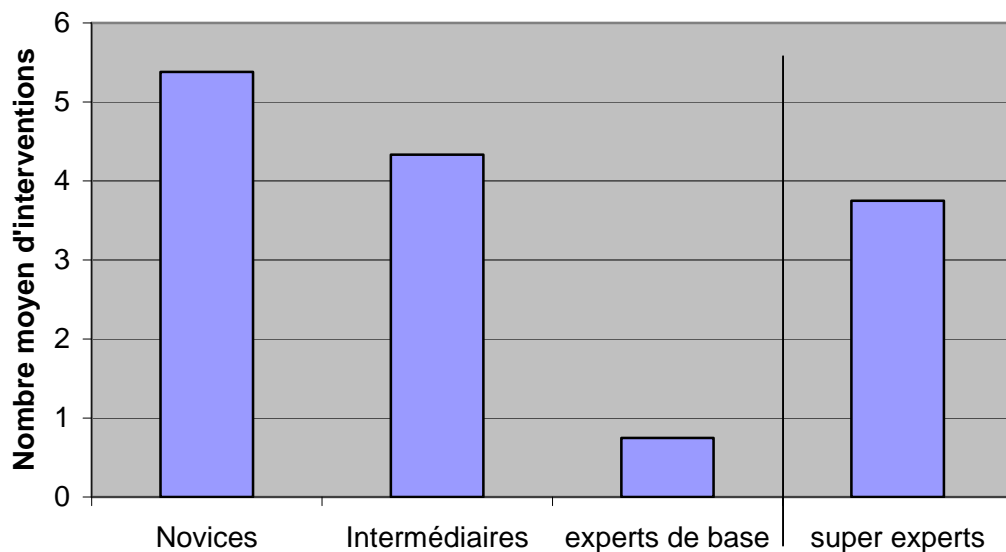
Un premier test de ces hypothèses a été réalisé avec succès<sup>1</sup> en reprenant les protocoles verbaux de l'expérience initiale (Raufaste, 1999a, 1999b). Pour ce qui concerne l'expertise de base, on observe une pente monotone décroissante comme nous l'attendions (voir Figure VI.4). Le nombre d'interventions est maximal chez les novices où la moyenne est de 5.38 ( $SD = 3.16$ ), il descend à 4.33 ( $SD = 2.07$ ) chez les intermédiaires, pour tomber à 0.75 ( $SD = 0.96$ ) chez les experts de base. Cette relation est statistiquement significative ( $F(2;17) = 4.63$ ;  $p = .027$ ). Par ailleurs, avec 3.75 interventions en moyenne ( $SD = 2.22$ ), le nombre d'interventions est plus élevé chez les super-experts que chez les experts de base ( $t(6) = -2.48$ ;  $p = .024$  en unilatéral).

On pourra être surpris de voir que le nombre d'interventions chez les super-experts n'est pas supérieur à celui observé chez les sujets novices et intermédiaires puisque l'on sait que les super-experts sont plus flexibles que ces deux groupes (cf. Lesgold et al., 1988; Raufaste, Eyrolle & Mariné, 1998). En fait, ceci s'explique naturellement par le fait que les super-experts, contrairement aux sujets peu expérimentés, possèdent une base d'automatismes au moins aussi importante que les experts de base. Le rôle des interventions est donc qualitativement différent chez les novices et chez les super-experts : l'intervention chez les novices et intermédiaires est destinée à pallier un manque quantitatif d'automatismes tandis que l'intervention chez les super-experts est destinée à pallier l'insuffisance qualitative des automatismes. Chez les sujets peu expérimentés, les ressources attentionnelles permettant la flexibilité cognitive sont donc consommées par le travail de mobilisation des connaissances de sorte que les ressources restantes ne permettent pas une bonne flexibilité (Lesgold et al., 1988). Au contraire, les ressources attentionnelles mobilisées par les interventions sont entière-

---

<sup>1</sup> La mesure du nombre d'interventions à partir des protocoles verbaux est complexe et nous renvoyons à Raufaste (1999a) pour une description détaillée de la méthode.

ment consacrées à la flexibilité. C'est probablement pourquoi les super-experts restent plus flexibles que les novices et intermédiaires.



**Figure VI.4 : Nombre d'interventions en fonction de l'expertise**

Si le nombre d'interventions semble bien relié à la nature de l'expertise et à la flexibilité cognitive, cette expérience ne teste pas clairement un autre point clé du modèle, à savoir le mécanisme qui déclenche les interventions.

### **II.3 Expérience sur le déclenchement des interventions<sup>1</sup>**

Selon l'analyse présentée plus haut, nous avons émis l'hypothèse que les interventions étaient déclenchées par la perception d'incohérences dans la représentation, perception prenant la forme d'un sentiment d'incertitude. Sous cette hypothèse, le modèle prédit une relation étroite entre flexibilité cognitive et sentiment d'incertitude.

#### Principe du test

Le paradigme expérimental consistait à présenter des cas composés de deux ensembles de données (un cliché radiologique et une très brève description clinique du cas), présentés successivement (en faisant varier l'ordre), et à prendre deux séries de mesures, chacune après la présentation de l'un des ensembles de données. En manipulant les informations présentées de manière à ce que la représentation initiale soit typiquement compatible, neutre, ou incompatible avec l'information complète issue des deux blocs de données, nous avons manipulé le degré de cohérence de la représentation au moment de la seconde mesure. La flexibilité cognitive était mesurée en prenant comme indicateur les modifications induites par le nouvel ensemble de données. Ces modifications pouvaient consister soit en un changement d'hypothèse, soit en une modification des sentiments d'incertitude associés aux hypothèses.

<sup>1</sup> Expérience non encore publiée

Nous avons posé une série d'hypothèses de corrélation. Étaient attendues des corrélations (1) négative entre le nombre d'hypothèses générées à un instant donné et le degré d'incertitude associé à ces hypothèses; (2) négative entre la plausibilité initiale des diagnostics et la flexibilité cognitive; (3) positive entre les jugements de confiance générés après le premier stimulus et le nombre d'hypothèses restées inchangées entre les présentations de données ; (4) négative entre les jugements de confiance générés après le premier stimulus et plus le nombre d'hypothèses supprimées; (5) négative entre les jugements de confiance générés après le premier stimulus et le nombre d'hypothèses ajoutées.

### Méthode

**Participants.** Quatre radiologues praticiens ayant une expérience professionnelle allant de 10 à 17 ans après la fin de l'internat (expérience moyenne : 12,2 ans) ont participé bénévolement.

**Matériel.** 25 dossiers issus de 25 patients et comprenant chacun une image numérisée et un indice clinique ont été présentés sur l'écran d'un PC. Le premier dossier a été utilisé à titre de familiarisation avec la tâche. Les mesures de temps ont été réalisées par le logiciel. Afin de faire varier l'incertitude introduite par les nouvelles données, nous avons manipulé la compatibilité entre les caractéristiques du film et les données présentées dans l'histoire clinique. Notre expert consultant nous a fourni huit cas ayant une histoire compatible avec les diagnostics les plus typiques étant donné le film (condition compatible, notée C), huit cas ayant une histoire conduisant à un diagnostic qui n'était pas le diagnostic le plus typique du cliché (condition incompatible, notée I), et huit cas ayant une histoire ne présentant aucune donnée qui aurait pu permettre d'infirmer ou d'affirmer le diagnostic le plus typique du cliché (condition neutre, notée N).

**Procédure.** Pour chaque cas, le radiologue recevait d'abord une information (cliché ou histoire clinique). Il saisissait ses hypothèses et les jugements de confiance associés. La seconde information (film ou histoire) était ensuite fournie. De nouveau l'écran de saisie des hypothèses avec les jugements de confiance associés était présenté, les hypothèses saisies après la première présentation ayant été supprimées de l'écran.

**Analyse.** Concernant les jugements de confiance, plusieurs variables ont été calculées à partir des valeurs  $\Psi$  associées aux hypothèses fournies par le médecin : le  $\Psi$ -minimum, le  $\Psi$ -maximum, et la valeur moyenne. Par exemple, si un sujet avait entré les trois hypothèses H1, H2 et H3 accompagnées respectivement de jugements de confiance de 30, 40, et 80, nous avons calculé le  $\Psi$ -minimum (30), le  $\Psi$ -maximum (80) et le  $\Psi$ -moyen (50). A partir des données recueillies, plusieurs variables ont été calculées, relativement à la flexibilité cognitive : le nombre d'hypothèses restées inchangées (le médecin a entré deux fois la même hypothèse); le nombre d'hypothèses supprimées (hypothèses entrées après la première information mais pas après la deuxième); le nombre d'hypothèses ajoutées (hypothèses entrées après la seconde information mais pas après la première); enfin, le nombre total d'hypothèses générées durant les deux présentations (total des trois variables précédentes). Les corrélations impliquant le temps d'exploration ont été calculées selon la condition de présentation (film en premier ou histoire en premier), en utilisant les jugements de confiance qui avaient été entrés sur le premier ou le second écran : Dans tous les cas, nous avons utilisé les jugements de confiance entrés juste après que le film ait été vu.

### Résultats

La corrélation négative attendue entre les jugements de confiance mesurés à un moment et le nombre d'hypothèses générées au même moment était significative,



après la première comme après la seconde information (Tableau VI.1). En ce qui concerne les valeurs minimum et moyenne, les corrélations entre jugements de confiance et nombre d'hypothèses après la seconde présentation étaient significatives même quand l'effet du nombre d'hypothèses produites après la première présentation était contrôlé :  $r(93) = -.47$  ( $p < .001$ ) et  $r(93) = -.33$  ( $p < .001$ ), respectivement.

	Après la 1 <sup>ère</sup> information	Après la 2 <sup>nde</sup> information
$\Psi_{minimum}$	$r_{(94)} = -.35$ ( $p < .001$ )	$r_{(94)} = -.50$ ( $p < .001$ )
$\Psi_{moyen}$	$r_{(94)} = -.33$ ( $p = .001$ )	$r_{(94)} = -.38$ ( $p < .001$ )
$\Psi_{maximum}$	$r_{(94)} = -.24$ ( $p = .008$ )	$r_{(94)} = -.11$ ( <i>ns</i> )

**Tableau VI.1 : Relations entre nombre d'hypothèses et incertitude ressentie.**

Les corrélations globales entre l'incertitude initiale et la flexibilité cognitive apparaissent dans le Tableau VI.2. Les relations attendues concernant les changements ont été globalement confirmées : le nombre d'hypothèses ajoutées ou supprimées entre les deux présentations d'information était négativement corrélé avec les jugements de confiance exprimés après la première présentation, et ces corrélations étaient globalement significatives. Autrement dit, plus les hypothèses étaient jugées initialement plausibles, et moins les sujets étaient enclins à la flexibilité, ce qui est compatible avec l'hypothèse de rupteurs déclenchés par une quantité d'incertitude élevée. L'existence de la corrélation positive attendue entre les valeurs des jugements de confiance générés après le premier stimulus, et le nombre d'hypothèses restées inchangées après la seconde présentation de données a été vérifiée pour la valeur maximale des mesures- $\Psi$ , mais pas pour les valeurs minimales et moyennes.

La corrélation négative attendue entre le temps d'exploration et les jugements de confiance (mesures- $\Psi$ ) était significative ( $r(94) = -.23$ ,  $p < .014$ ).

L'analyse des corrélations internes aux conditions *C*, *N* et *I* permet d'aller plus loin : Dans la condition d'incompatibilité (*I*), toutes les corrélations étaient significatives et dans le sens attendu pour le nombre d'hypothèses supprimées et le nombre d'hypothèses inchangées. Seul le nombre d'hypothèses ajoutées ne pouvait être prédit à partir des jugements de confiance initiaux. Dans la condition neutre (*N*), où l'histoire ne fournissait aucune information qui aurait pu changer le jugement, la corrélation entre mesures- $\Psi$  générées après le premier stimulus, et le nombre d'hypothèses supprimées était clairement négative et significative, comme prévu ( $\Psi_{min}$  :  $r_{(31)} = -.35$ ,  $p < .025$  ;  $\Psi_{moyen}$  :  $r_{(31)} = -.57$ ,  $p < .001$  ;  $\Psi_{max}$  :  $r_{(31)} = -.58$ ,  $p < .001$ ). En ce qui concerne les hypothèses ajoutées, la relation dans la condition neutre était dans le sens attendu mais tendancielle seulement. Le nombre d'hypothèses inchangées semblait indépendant du niveau d'incertitude initial. Enfin, dans la condition de compatibilité (*C*), nous n'avons pu mesurer aucune corrélation significative entre les jugements de confiance initiaux et des changements ou des absences de

changements d'hypothèses.

		Nombre d'hypothèses...		
		Inchangées	Supprimées	Ajoutées
Relation attendue		↗	↘	↙
Jugements de confiance après la 1 <sup>ère</sup> information	$\Psi$ -maximum	$r_{(94)} = .17$ ( $p = .046$ )	$r_{(94)} = -.33$ ( $p < .001$ )	$r_{(94)} = -.24$ ( $p = .008$ )
	$\Psi$ -moyen	$r_{(94)} = .10$ ( $ns$ )	$r_{(94)} = -.36$ ( $p < .001$ )	$r_{(94)} = -.20$ ( $p < .027$ )
	$\Psi$ -minimum	$r_{(94)} = .03$ ( $ns$ )	$r_{(94)} = -.33$ ( $p < .001$ )	$r_{(94)} = -.12$ ( $ns$ )

**Tableau VI.2 : Relations entre incertitude après la 1<sup>ère</sup> information et flexibilité.**

Au total, les prédictions du modèle ont été corroborées de façon satisfaisante par les résultats expérimentaux mais il serait souhaitable de procéder à une réplication à plus grande échelle avant de publier ces premiers résultats. Ce modèle détermine le déclenchement d'interventions suite à la détection d'une incohérence dans la représentation. La question qui se pose ensuite est : une fois l'incohérence détectée et l'intervention déclenchée, que se passe-t-il ? Si l'on tient les données entrantes pour fiables, le réseau se stabilisera de manière à ajuster les hypothèses aux données. Mais que se passera-t-il si les données entrantes ne sont pas jugées très fiables ? Une hypothèse raisonnable est que les hypothèses pèseront plus lourd que les données et que ce sont les données qui devraient être ajustées. C'est ce que montre l'expérience qui suit.

### III. AJUSTEMENT DES DONNEES A LA REPRESENTATION : JUGEMENTS DE DOULEUR EN MEDECINE D'URGENCE<sup>1</sup>

#### *Idee générale de l'étude*

En médecine d'urgence, l'évaluation de douleur indiquée par le patient est un symptôme incontournable qui est directement associé à des règles de décision concernant la conduite à tenir : peut-on le laisser sortir, quel traitement adopter, etc. Cela étant, les patients ne sont pas forcément fiables dans l'évaluation qu'ils donnent de leur douleur. Ils peuvent être par exemple tentés « d'en rajouter » pour bénéficier d'une prise en charge plus rapide, ou recevoir un traitement antalgique plus puissant. Ils peuvent aussi considérer que leur douleur est très forte alors qu'elle n'est que moyenne, par simple manque d'un point de référence sur ce qu'est réellement une douleur très forte (fort heureusement, tout le monde n'a pas expérimenté les pathologies les plus douloureuses). Dans ces conditions, la valeur de flexibilité cognitive voudrait que les médecins fassent la part des choses et ajustent la valeur de l'indice

<sup>1</sup> Cette section reprend de larges extraits d'une publication récente (Marquié, Raufaste, Mariné, Lauque, et Sorum (2003).

fourni explicitement par le patient en fonction des autres indices disponibles (indices comportementaux de douleur par exemple). Les évaluations de douleur étant une pratique routinière en médecine d'urgence, l'étude de cet ajustement constitue une approche expérimentale de la flexibilité à la fois pertinente et écologiquement valide.

### Quelques données générales sur la douleur

La douleur est une expérience personnelle du patient mais les jugements diagnostics et les décisions de traitement dépendent largement de la perception qu'en a le médecin (Bartfield et al., 1997). C'est le médecin qui décide, par exemple, de la nature et de la quantité des antalgiques que doit prendre le patient.

Des chercheurs ont étudié la perception de l'intensité de la douleur par le patient, par le médecin, et la différence entre les perceptions du patient et du médecin (Hodgkins et al, 1985; Todd et al., 1994; Thomas et al, 1999). En général, les médecins donnent des évaluations de la douleur des patients plus faibles que ce qu'indiquent les patients eux-mêmes. En France, Blettery et ses collègues (1996) ont observé que les évaluations données par les médecins étaient plus faibles lorsque ceux-ci utilisaient des indices comportementaux de la douleur comme les expressions faciales (échelles de mesure dites « d'hétéro-évaluation ») alors que les patients utilisaient une échelle visuelle analogique (« VAS », Price et al., 1983). La différence d'échelles pouvait donc être rendue responsable de l'écart constaté (Boureau & Doubrere, 1988).

De multiples facteurs influencent la perception de la douleur. Certains sont proprement individuels, d'autres non. L'information concernant l'impact de facteurs interindividuels est limitée. Plusieurs chercheurs ont rapporté des différences liées au sexe des patients (e.g., Brennum et al., 1989; Hall & Davies, 1991; Jensen et al., 1992; Riley et al., 1998). D'autres n'ont pas retrouvé ces différences (e.g., Jensen et al., 1986; Hoffmann & Tarzian, 2001). L'âge du patient (Egbert, 1991; Pickering et al., 2002) et l'ethnicité (Edwards, Fillingim, et al., 2001; Edwards, Doleys et al., 2001) peuvent aussi affecter les jugements des patients. Les hommes et les femmes peuvent percevoir la douleur différemment (Borum, 2002) et Weisse, Sorum, et al. (2001) ont observé que le sexe du patient pouvait avoir un impact complexe sur les décisions de traitement du médecin. Mais à notre connaissance, l'effet des caractéristiques du médecin a été peu étudié.

### Hypothèses

La première idée serait que les experts doivent produire une performance meilleure que celle des novices. Comme il est difficile d'établir un critère externe de la performance optimale dans un domaine aussi subjectif, nous travaillerons avec des données relatives plutôt qu'absolues. La référence sera la douleur exprimée par le patient. Nous définissons la *miscalibration* comme étant la différence d'évaluation entre le jugement du médecin et celui du patient (médecin moins patient). Les valeurs positives signifient donc une surestimation de la douleur du patient et les évaluations

négligentes une sous-estimation. Ces trois termes (miscalibration, sous-estimation et surestimation) sont purement descriptifs et ne véhiculent aucun jugement de qualité puisque nous ne disposons pas d'un critère externe de la performance optimale.

Compte tenu de notre modèle général, on peut s'attendre à ce que la flexibilité tende à maximiser la cohérence dans la représentation du médecin. Du fait que le médecin a rencontré une gamme de cas largement plus étendue que la gamme de cas expérimentée par le patient, on peut s'attendre à ce que le point de référence d'une douleur extrême soit sensiblement plus élevé que le point de référence du patient.

H1 : *Ceteris paribus*, ayant pris comme niveau de base l'évaluation du patient, les ajustements devraient tendre vers une sous-estimation de la douleur du patient.

Le type de maladies pourrait avoir un effet sur la calibration des jugements de douleur au travers de son impact sur l'anxiété du patient, dont on sait qu'elle affecte la douleur (Jones & Zachariae, 2002) mais dont on peut supposer qu'elle n'affecte pas le médecin. Ainsi les causes « évidentes » pour le patient (e.g., chocs, brûlures, etc...) peuvent être supposées moins anxiogènes que les causes non évidentes (douleur abdominale inexplicable) conduisant donc à moins de miscalibration.

H2 : Le type de cause de la douleur devrait influencer la miscalibration.

Étant donné que des paramètres d'ordre affectif peuvent modifier les activations dans le réseau sémantique, il est plausible que les médecins soient sensibles à des effets de bord non normatifs. D'un point de vue normatif, le sexe du médecin par exemple, ne devrait pas intervenir dans son jugement car, a priori, personne ne souhaiterait que sa douleur soit évaluée différemment selon que le médecin est un homme ou une femme. Néanmoins, on peut imaginer que les médecins, novices au moins, aient du mal à corriger ces biais.

H3 : *Ceteris paribus*, certaines caractéristiques propres des médecins pourraient interférer sur les jugements de douleur donnés par les médecins.

### Méthode

**Participants.** Les patients ( $N = 200$ ) étaient recrutés dans la salle d'attente en fonction des critères suivants : Ils devaient ressentir de la douleur, être âgé(e)s de plus de 14 ans, être lucides, et parler français suffisamment bien pour comprendre pleinement les instructions. L'échantillon comprenait 121 hommes et 79 femmes, âgés entre 14 et 83 ans ( $m = 32$ ,  $SD = 14$ ). Les médecins ( $N = 48$ ) incluaient deux groupes, 15 experts entraînés et certifiés en médecine d'urgence (7 hommes et 8 femmes) et 33 novices (18 hommes et 15 femmes), externes et des internes en formation à la médecine d'urgence.

**Matériel et procédure.** L'expérience s'insérait dans la prise en charge usuelle des patients. La première mesure était réalisée à l'arrivée dans le service de médecine d'urgence. L'infirmière de triage demandait au patient d'évaluer sa douleur au moyen de l'échelle analogique standard (VAS), en plaçant une marque sur une ligne de 10 cm de longueur, à une distance appropriée entre les deux extrêmes étiquetés « aucune douleur » et « la douleur la plus intense imaginable ». Cette évaluation, placée dans le dossier du patient, était accessible au médecin. Après avoir fini l'examen initial, le médecin évaluait la douleur du patient au moyen de la VAS. Le médecin avait pour consigne de donner une estimation tenant compte avant tout de sa propre évaluation de la douleur du patient. L'évaluation par le médecin était réalisée hors

de la vue du patient. Patient et médecin procédaient à une seconde évaluation au moment de la sortie de l'hôpital. Le diagnostic final était enregistré pour chaque cas.

### Résultats

Les résultats globaux apparaissent dans le Tableau VI.3.

	Patient			médecin		miscalibration*	
	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>
Total entrée	200	5.02	0.19	3.70	0.17	-1.33	0.17
Total sortie	172	3.94	0.19	2.56	0.17	-1.38	0.15
Total	172	4.39	0.18	2.97	0.16	-1.42	0.15

**Tableau VI.3 : Jugements de douleur (sur une échelle de 0 à 10).**

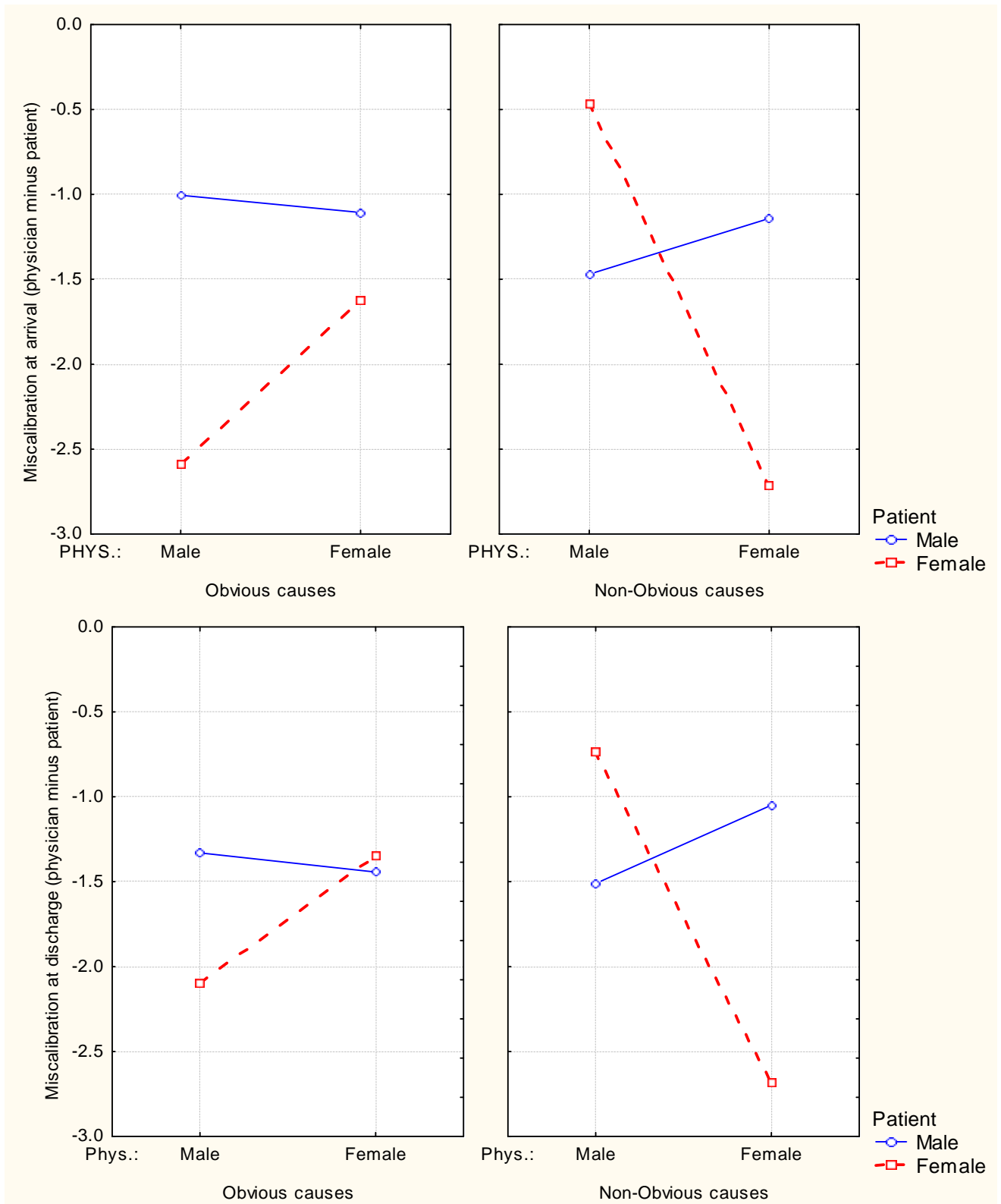
\* tous les  $p < .001$

Le moment de la mesure n'a pas eu d'effet sur la miscalibration. Néanmoins, l'effectif à l'entrée étant un peu plus fort qu'à la sortie, les analyses présentées dissocient ces deux moments. Le premier résultat est l'observation d'une miscalibration significative,  $p < .001$ . La miscalibration était d'autant plus importante que le jugement du patient était initialement fort, à l'arrivée,  $F_{(1,182)} = 82.22$ ,  $p < .001$ , et à la sortie,  $F_{(1,154)} = 63.41$ ,  $p < .001$ . Indépendamment du niveau initial de douleur, la miscalibration décroissait aussi avec l'âge à l'entrée,  $F_{(1,182)} = 4.93$ ,  $p = .027$ , et à la sortie,  $F_{(1,154)} = 5.71$ ,  $p = .018$ . Ces facteurs ont été introduits comme covariant dans les analyses subséquentes.

Une fois l'âge et le jugement initial du patient contrôlés, la miscalibration n'est apparue comme effet principal d'aucun des facteurs envisagés, même tendancielle-ment ( $p_s > .12$ ), à l'admission comme à la sortie. Une interaction à trois voies entre le type de causes (évidentes vs. pas évidentes), le sexe du patient et le sexe du médecin était significative à l'entrée (Figure VI.4, haut),  $F_{(1,182)} = 4.04$ ,  $p = .046$  comme à la sortie,  $F_{(1,154)} = 4.25$ ,  $p = .041$  (Figure VI.4., bas).

### Discussion

La miscalibration a été bien observée, et dans le sens attendu. Diverses études ont montré que des différences dans le niveau de douleur aiguë étaient cliniquement significatives à partir de niveaux compris, sur une échelle allant de 0 à 10, entre 0.9 (Kelly, 1998) et 1.3 (Gallagher et al., 2001; Todd et al., 1996). L'ampleur de la miscalibration observée ici étant supérieure à 1.3 (en valeur absolue), cette observation a donc une importance clinique certaine.



**Figure VI.4 : Interactions entre sexe du patient, du médecin et type de maladie**

A l'entrée comme à la sortie, la douleur des femmes est sous-estimée par les médecins hommes lorsque la cause est évidente et elle tout aussi sous-estimée mais par les médecins femmes lorsque la cause n'est pas évidente.

Bien que nous n'avions pas formulé explicitement d'hypothèse par rapport à cela,

la miscalibration variait avec le niveau de douleur exprimé par le patient, dans le sens d'une compensation (plus le niveau de douleur exprimé par le patient était élevé et plus la miscalibration l'était aussi). Rétrospectivement, cela paraît normal puisque plus la valeur donnée par le patient est extrême et plus l'écart risque d'être important avec l'attente du médecin (compte tenu de la situation d'ensemble).

Enfin l'existence d'une interaction impliquant un facteur aussi peu pertinent que le sexe du médecin confirme que la miscalibration n'est pas entièrement fonctionnelle, ce qui s'explique naturellement dans notre modèle : il suffit de remarquer que les valeurs d'activation seront modulées par des facteurs affectifs, ceux-ci étant bien entendu sensibles au sexe de la personne, fût-elle un expert.

Une chose n'est pas claire : pourquoi n'avons nous pas obtenu d'effet de l'expérience sur la miscalibration ? Bien qu'un peu surprenant, ce « non-résultat » n'est pas rédhibitoire car on peut facilement supposer que les médecins acquièrent très rapidement la notion que les jugements de douleur donnés par les patients ne sont pas fiables. Dans cette hypothèse, pour obtenir une différence significative il faudrait que quelque raison induise un ajustement différent chez les experts et les novices. Il faudrait par surcroît que la taille de cet effet soit suffisamment importante pour donner lieu à une différence significative sur un échantillon de 200 cas. En attendant d'autres recueils, nous nous garderons donc de toute conclusion sur ce sujet.

#### **IV. CONCLUSION SUR LA VALEUR FLEXIBILITE**

Dans ce chapitre nous avons envisagé les déterminants de l'optimisation de l'activité cognitive, du point de vue de la valeur flexibilité. Nous avons développé un modèle original des processus cognitifs qui permettent la flexibilité en situation de diagnostic. Les résultats empiriques présentés soutiennent les bases du modèle, à savoir que la flexibilité cognitive serait rendue possible par l'acquisition de schémas particuliers capables de prendre comme information d'entrée le sentiment d'incertitude qui découle de l'état de la représentation, et de déclencher des interventions du système attentionnel sur le déroulement de l'activité cognitive induite par les automatismes.

Nous avons terminé par une première expérience concernant un autre mode de flexibilité cognitive : l'ajustement des données à la représentation. Cette expérience a montré la flexibilité cognitive à l'œuvre dans une pratique clinique réelle, aussi bien dans ses aspects a priori fonctionnels que dysfonctionnels...

\* \* \*

Nous avons maintenant terminé la partie « bilan » de ce document, et nous allons passer à la partie « projet ».

# 2<sup>ème</sup> partie

## Projet de Recherche



## **CHAPITRE VII : PROJETS D'INVESTIGATIONS EXPERIMENTALES**

La question qui nous intéresse est celle de la théorisation et de la simulation des processus qui permettent à un individu d'adapter ses processus cognitifs aux contraintes de son environnement. Dans la première partie de ce document, nous avons exposé les grandes lignes des travaux réalisés dans cette direction. Ce chapitre présente des perspectives d'investigations expérimentales qui viendront compléter les travaux déjà réalisés.

### **I. VALEURS DE RATIONALITE ET OPTIMISATION**

En ce qui concerne le travail sur les valeurs de rationalité, nous avons présenté une approche théorique et l'application qui en a été faite dans le domaine de l'erreur humaine en médecine d'urgence. Au niveau de la méthode elle-même (l'AR-ST), il nous semble que le meilleur test que l'on puisse trouver pour valider plus avant la méthode serait de la tester sur d'autres domaines que le diagnostic médical. Ce travail pourra être réalisé plus tard ou par d'autres que nous mais dans l'immédiat il nous paraît plus intéressant d'approfondir les notions que notre approche a permis de dégager, à savoir les trois valeurs de rationalité principale et les processus cognitifs de leur mise en œuvre.

Au niveau de l'étude des erreurs présentée dans le chapitre I, la critique majeure nous paraît tenir à ce que les erreurs étudiées étaient exclusivement des erreurs non récupérées. Elles ne sont donc pas représentatives de la totalité des erreurs commises. Or, si une valeur est importante à optimiser, alors on peut raisonnablement supposer que divers mécanismes de récupération interviendront pour réduire le nombre d'erreurs sur cette valeur. Il conviendra donc de mener une investigation des mécanismes de récupération d'erreur, valeur par valeur.

### **II. PLAUSIBILITE PSYCHOLOGIQUE DES MODELES NORMATIFS**

Nous avons montré que la théorie des possibilités constitue un cadre formel psychologiquement plausible pour rendre compte du traitement conscient des jugements d'incertitude. Un premier problème pourrait être le caractère préliminaire du travail présenté à propos du raisonnement non monotone. Ce travail a depuis été poursuivi par d'autres (Benferhat et al., sous presse) et nous ne pensons pour l'instant pas nous y investir plus avant.

La plus importante limite concernant ce volet nous semble être de n'avoir testé les modèles probabiliste et possibiliste que du seul point de vue du jugement. Il paraît donc impératif d'étendre les tests à la décision pure, qualitative ou non.

## II.1 Étude de la décision qualitative

Au niveau normatif et à court terme, la suite de ce projet sera centrée sur la notion de *décision qualitative*. En effet, Dubois et Prade (1995b) ont présenté une théorie qualitative de la décision qui s'appuie sur une incertitude possibiliste (en supposant la commensurabilité de l'échelle d'incertitude et de l'échelle d'utilité). Cette théorie permet de définir des critères optimistes et pessimistes de décision.

On pose deux distributions de possibilité  $L$  et  $T$ , (cf. le I.3 du Chapitre II).  $L$  exprime une échelle de plausibilité et  $T$  une échelle d'acceptabilité,  $L$  et  $T$  étant commensurables. Soit un état  $s \in S$ , un ensemble d'états mutuellement exclusifs,  $\pi(s)$  la possibilité que  $s$  s'actualise, notée sur une échelle ordinaire<sup>1</sup> allant de  $0_\pi$  à  $1_\pi$  où  $0_\pi$  signifie l'impossibilité complète et  $1_\pi$  la plus forte plausibilité parmi les état potentiels (plusieurs état  $s$  pouvant atteindre cette valeur). Soit aussi  $\mu(s)$  l'acceptabilité de  $s$  (i.e., le degré auquel l'état  $s$  est acceptable) notée sur une échelle allant de  $0_\mu$  à  $1_\mu$  où  $0_\mu$  signifie que  $s$  est totalement inacceptable et où  $1_\mu$  signifie la valeur la forte parmi tous les état potentiels. On note aussi  $f$  une décision dont les conséquences dans l'état sont  $f(s)$ . Enfin on introduit deux bijections  $m$  et  $n$  qui relient l'échelle de plausibilité  $L$  et l'échelle d'acceptabilité  $T$ .  $n$  renverse l'ordre de  $L$  à  $T$ ,  $m$  le préserve.

Le critère pessimiste s'écrit :

$$E_*(f) = \inf_{s \in S} \max[n(\pi(s)), \mu(f(s))]$$

Dès qu'une seule mauvaise conséquence de  $f$  devient très plausible,  $E_*(f)$  s'effondre. Retenir les décisions qui maximisent ce critère revient à éviter les comportements présentant des risques.

Le critère optimiste s'écrit :

$$E^*(f) = \sup_{s \in S} \min[m(\pi(s)), \mu(f(s))]$$

Sa valeur est élevée dès qu'une seule conséquence de  $f$  est à la fois très plausible et très acceptable (le risque tend à être négligé).

Il faut noter que comme toutes les opérations possibilistes, le calcul de ces critères ne nécessite que des opérations de min, max et renversement d'ordre alors que l'utilité espérée classique réalise une somme pondérée.

### Principe du test

Nous allons donc reprendre la méthodologie qui a porté des fruits dans les étapes précédentes du projet, et comparer la performance humaine aux prédictions de la théorie qualitative de la décision d'une part, et de la théorie classique de l'utilité espérée d'autre part.

Afin de tester ces prédictions nous prendrons comme situations de décision des problèmes isomorphes de l'exemple de l'omelette de Savage (1954). Il s'agit de situa-

---

<sup>1</sup> Nous indiquons les valeurs 0 et 1 pour préciser sur quelle échelle elles sont prises, l'échelle de plausibilité ou l'échelle d'acceptabilité.

tions avec deux états inconnus du monde (dont on peut manipuler l'incertitude qui leur est attachée), et trois actions possibles. Cela définit six issues possibles à la décision, issues dont on peut aussi manipuler l'utilité. Dans l'exemple de Savage, un sujet qui est en train de réaliser une omelette a déjà cassé cinq œufs frais dans son récipient. Il doit casser un sixième œuf. Cet œuf peut être pourri ou frais (les deux états du monde). Si un œuf pourri est mélangé aux autres, le sujet peut perdre même ses cinq œufs frais. Le sujet dispose alors de trois choix d'actions : il peut jeter l'œuf à la poubelle directement (l'issue est soit une omelette de cinq œufs et un œuf perdu si l'œuf était bon, soit une omelette à cinq œufs sans perte si l'œuf était pourri), le casser dans un bol à part (l'issue est alors une omelette à 6 œufs et un bol à laver ou une omelette à 5 œufs et un bol à laver), ou enfin le casser directement la poêle (l'issue est alors soit une omelette à 6 œufs soit pas d'omelette du tout et cinq œufs perdus). On voit que dans un problème de ce type, l'ordre de préférence des actions dépend de l'incertitude attachée aux deux états du monde (par exemple la possibilité subjective que l'œuf soit pourri) et de l'utilité des issues (par exemple il est mieux d'avoir une omelette à 6 œufs, qu'une omelette à 6 œufs et un bol à laver). Dans ces conditions, l'ordre des choix d'actions peut servir à caractériser la fonction de décision.

#### *Variations des conditions expérimentales*

Une fois ce principe de test admis, se pose la question des situations expérimentales dans lesquelles le test devrait être conduit.

Au moins deux types de populations doivent être envisagées : une population d'étudiants et au moins une population de sujets experts d'un domaine (la médecine d'urgence par exemple) et interrogés dans ce domaine.

Un second point qui devrait faire l'objet de recherches est l'influence du type de décisions à prendre. On sait en effet que les différentes représentations de l'incertitude sont adaptées à des types différents de décision. Lorsque la décision est répétable un grand nombre de fois et n'implique pas d'enjeux qualitativement forts, une approche probabiliste peut être adaptée. Lorsqu'au contraire la décision implique des choix non répétables et/ou ayant des conséquences très importantes, une approche qualitative pourrait être mieux adaptée. A partir de là, il est tout à fait plausible que des processus optimisés soient capables d'approximer une stratégie probabiliste pour le premier type d'événements, et possibiliste pour le second. Toutes ces choses devront être testées, ce qui implique la sélection de plusieurs situations tests.

Dans nos travaux précédents, nous avons commencé à tester la question du format de réponse de l'information d'incertitude (numérique ou linguistique). Nous avons obtenu des résultats tendant à montrer que le modèle possibiliste s'ajustait mieux aux données lorsque les réponses étaient données sur une échelle linguistique en 7 points (« impossible » / « peu possible » / « assez possible » / « possible mais pas certain » / « probable » / « très probable » / « certain ») plutôt que sur une échelle numérique

allant de 0% à 100% par pas de 5% (Da Silva-Neves & Raufaste, 2001).

Il conviendra donc de réaliser une étude systématique des effets de la manipulation du format de réponse. C'est ce que nous comptons faire, et cela dans différentes conditions de présentation de l'incertitude, ainsi que dans différentes conditions d'utilité (utilités positives ou négatives). L'emploi de modèles qualitatifs plutôt que numériques étant notamment justifié par le caractère répétable ou non de l'expérience, la répétabilité de la décision sera aussi manipulée.

## **II.2 La bipolarité de l'information**

Il nous faut enfin signaler un point négligé dans la partie bilan : la question de la polarité de l'information. En effet, il est possible de distinguer entre une information de nature négative, qui exprime des contraintes sur la réalité, et une information de nature positive, qui exprime des états positivement observés dans la réalité (Dubois, Prade, & Ughetto, 2002). L'information négative s'exprime généralement sous forme de règles générales et l'information positive sous forme d'exemples. Nous avons rencontré ces deux types d'informations mais nous n'avons absolument pas questionné les implications normatives de cette distinction. Il conviendra donc, à l'avenir d'explorer cette voie et un premier financement a d'ailleurs été obtenu récemment<sup>1</sup> afin d'organiser des rencontres interdisciplinaires pour défricher le terrain.

## **III. INVESTIGATIONS DE LA PERTINENCE**

La modélisation théorique de la richesse n'est plus tellement un problème de nos jours, compte tenu des divers modèles existants. Divers modèles computationnels existent qui rendent déjà compte de ces aspects, tout en étant largement compatibles avec notre propre démarche. Nous ne nous étendrons donc pas dessus.

La pertinence, donc le calcul de l'utilité potentielle des options, peut s'analyser à deux niveaux : comment les processus cognitifs généraux capturent la pertinence d'une part, et comment les évaluations affectives capturent la pertinence d'autre part.

### **III.1 De notre modèle général aux jugements d'incertitude**

A terme, nous pourrions envisager de procéder à l'investigation des mécanismes de jugement et de décision que nous avons décrit dans notre thèse de doctorat, sur la « théorie du support consonant ». Cette théorie relie la structure du réseau sémantique activé -- et la distribution d'activation dans ce réseau -- aux jugements d'incertitude qui en découlent. Conceptuellement, elle permet de rattacher la structuration de la représentation mentale à une théorie formelle du jugement. La théorie formelle sous-jacente à cette théorie est la théorie mathématique des faits probants de Shafer (1976). Cette théorie admet deux cas particuliers, la théorie des possibilités (version numérique) et la théorie des probabilités. On retombe formellement sur ces cas particuliers

---

<sup>1</sup> Dotation obtenue sous l'impulsion de Henri Prade, dans le cadre du RTP 11, Raisonner et décider, Action spécifique « représentation bipolaire en raisonnement et décision »

en fonction de la structure du soutien apporté par les faits probants aux différents sous-ensembles d'hypothèses. L'intérêt majeur de cette théorie pour nous est de fournir un cadre potentiellement capable d'explicitier dans quel cas la théorie des possibilités est le cadre normatif idéal, et dans quel cas la théorie des probabilités joue ce rôle. Nous avons proposé une première approche théorique de cette question (Raufaste, 1999a) mais un paradigme expérimental spécifiquement dédié au test de cette théorie reste à construire.

À plus long terme, il conviendra de vérifier la compatibilité entre les prédictions de notre modèle général, en termes de jugements et de décision, et les propriétés des théories formelles de l'incertitude et de la décision. Il reste notamment à montrer comment une approche compatible avec la théorie des possibilités au niveau des jugements conscients peut émerger d'une représentation modélisée sous forme de réseaux sémantiques au niveau inconscient. D'autre part, les travaux récents de Sorum et al. (2002) qui ont montré que les étapes du diagnostic et de la décision de traitement ne devaient pas nécessairement se concevoir comme séquentiels mais au moins partiellement parallèles. Ce point méritera des investigations complémentaires de notre part car il est rarement possible d'appliquer une théorie normative si la structure de la situation de décision est modifiée en cours de raisonnement (c.f., Shafer, 1976).

### **III.2 Évaluations affectives et pertinence**

Nous avons vu que l'heuristique d'affect pouvait constituer un prédicteur sérieux des jugements de risque et bénéfice, ainsi que des décisions de vote. Néanmoins, comme tout processus heuristique, il permet avant toute chose de parvenir à une décision malgré des contraintes de temps, de coût cognitif etc. La motivation à utiliser une telle heuristique dépend probablement de son utilité potentielle : L'incertitude attachée aux conséquences des décisions prises en l'utilisant (i.e., la probabilité subjective de succès liée à son emploi) doit excéder le coût d'une stratégie plus réflexive. Savoir évaluer cela exige de comprendre ce que l'heuristique d'affect capture de la réalité, ainsi que son domaine d'application et son domaine de validité.

#### *Que capture l'heuristique d'affect ?*

Comme toute heuristique, l'heuristique d'affect produit des résultats satisfaisants dans un certain nombre de situations, et des résultats erronés dans d'autres situations (cf. Slovic et al., 2002). Il convient donc de déterminer les types de situations où son emploi convient, et les situations où cet emploi ne convient pas. C'est la connaissance de ces biais qui permettra de définir son domaine de validité. Il faut cependant noter que le domaine de validité réel de l'heuristique d'affect ne recouvre pas forcément le domaine de validité tel que perçu par les sujets. On a dès lors des raisons de soupçonner que les sujets peuvent appliquer l'heuristique d'affect alors qu'elle n'est pas appropriée simplement parce qu'ils ne se rendent pas compte qu'elle n'est pas appro-

prisée. Des éléments dans ce sens sont donnés par les travaux de Schwartz et Clore dans l'approche du « feeling-as-information » (Schwartz & Clore, 1983). Ces travaux montrent par exemple que les sujets peuvent être biaisés par des manipulations de leur état affectif mais que cet effet tend à disparaître dès lors que les sujets réalisent que leur affect n'est pas pertinent pour le jugement ou la décision considérés.

En outre, des tests complémentaires seront nécessaire pour valider de façon convaincante les processus que nous avons postulés comme sous-jacents à cette heuristique. En particulier, bien que nous postulons une dimension éthique bipolaire univariée et que nous ayons fourni des éléments allant dans ce sens, nous n'avons pas encore produit d'élément qui garantisse notre hypothèse concernant la nature éthique de cette dimension bipolaire.

S'il n'est pas contestable que l'utilité soit reliée à l'affect, il est plutôt improbable que l'affect ne soit lié qu'à l'utilité. Une question cruciale reste donc posée par rapport au statut de l'heuristique d'affect. En effet, nous postulons que la dimension éthique est construite à partir de dimensions à la Smith et Ellsworth. Ces dernières incluent à la fois des aspects utilitaires (valence, effort) et des aspects liés à l'incertitude (incertitude, contrôle responsabilité, contrôle situationnel). Un des suites à donner au présent projet sera donc de spécifier le statut exact de l'affect par rapport à ces aspects d'utilité et d'incertitude : dans quelle mesure l'affect capture-t-il l'incertitude et l'utilité. Par ailleurs, nous avons vu qu'une partie de l'incertitude est capturée non par des processus affectifs mais par les mécanismes associationnistes classiques. Comment donc se combinent ces deux sources d'évaluation de l'incertitude ? Toutes ces questions sont ouvertes.

### Structure affective des jugements de risque

Diverses études sont actuellement en cours avec des étudiants de maîtrise que j'encadre. Une étude s'appuie sur deux expériences réalisées en partenariat avec Melissa Finucane et Paul Slovic (Eugene, Oregon). Ces expériences visaient à induire un état affectif non pertinent chez des sujets au moyen d'images affectives calibrées du point de vue de la réaction affective qu'elles induisent en termes de valence et d'arousal (IAPS, Lang et al., 1995). Malheureusement, et comme nous l'avons compris ensuite, il est apparu que la valence en termes de plaisir / déplaisir n'est pas suffisante pour capturer la diversité de la réaction émotionnelle. Cette manipulation n'a donc pas conduit aux résultats escomptés. Un résultat frappant de cette étude était la stabilité des jugements de risque pour un item à évaluer donné. Les deux expériences ont été réalisées avec un an d'écart mais les jugements pour chaque item n'ont quasiment pas varié (il y avait environ 100 sujets par expérience). Ce point nous amène à penser que la structure affective de la représentation du risque est quelque chose de relativement stable, donc peu facile à perturber par une manipulation d'affect non pertinent. Une étude sera bientôt réalisée pour comparer la structure affective de deux

risques très différents du point de vue des jugements qu'ils engendrent en prenant plusieurs items pour la mesure de chacune des dimensions affectives.

Une autre étude vise à vérifier que le petit ensemble de dimensions préconisées par Smith et Ellsworth est suffisant pour expliquer une part significative de la variabilité dans le cadre de la perception du risque lié à la conduite automobile et à l'alcool chez une population de jeunes de 18 à 25 ans (étudiants en psychologie).

A l'issue de ces études locales, nous aurons une bonne idée des éléments qu'il serait nécessaire d'introduire dans une modélisation des déterminants affectifs de la pertinence, modélisation sur laquelle nous reviendrons plus loin.

### **III.3 Investigation des interactions entre processus analytiques et affectifs**

Divers travaux montrent, et ce n'est pas surprenant, que la décision se base parfois sur des raisonnements analytiques et non sur la base d'heuristiques. En particulier, les travaux réalisés dans l'optique du choix basé sur la raison (« reason-based choice », Shafir et al., 1993) ont montré que certaines décisions ne sont prises que lorsque le sujet se sent capable de défendre sa décision face à des attaques éventuelles, et donc lorsqu'il se sent capable d'exhiber des « bonnes raisons » pour justifier son choix. Ce type de recherches est bien entendu crucial dans les domaines où les décisions sont publiques et où les décideurs sont potentiellement sujets à la critique publique.

La question se pose donc de la gestion des interactions entre les penchants intuitifs vers telle ou telle option, et la nécessité de fournir une justification rationnelle à ce choix. Un modèle nous paraît être tout à fait intéressant à cet égard, initialement développé dans la perspective d'étudier la décision de migrer. Zimmermann (1995) a proposé que des raisons de deux types soient déterminantes pour les sujets, les raisons de type « push » et « pull ». Les raisons de type « pull » sont celles qui attirent dans le pays d'arrivée (e.g., de bonnes conditions économiques). Les raisons de type « push » sont celles qui poussent à quitter le pays de départ (e.g., de mauvaises conditions économiques). Mullet et al. (2000) ont proposé d'étendre cette approche en adjoignant des raisons anti-push et anti-pull. Les raisons anti-push sont celles qui nous motivent à rester dans le pays de départ (entourage familial, climat plus clément, etc.), et les raisons anti-pull sont celles qui poussent à ne pas aller dans le pays d'arrivée (solitude prévisible au début, climat mauvais, etc...). Ce modèle apparaît largement compatible avec la théorisation que nous avons proposée de l'heuristique d'affect, au sens où il suppose la focalisation successive sur deux représentations, celle du pays d'accueil et celle du pays d'arrivée. Un autre avantage de ce modèle est qu'il semble facile à généraliser à tous les cas de choix binaires tels que l'une des deux options est actuelle tandis que l'autre option est potentielle. On pourrait par exemple l'appliquer au cas du choix présidentiel lorsque l'un des deux candidats est le président sortant et l'autre candidat est « nouveau ». Dans une perspective plus proche de la psychologie ergonomique, on peut l'appliquer à la décision de changer

d'orientation professionnelle. En ce cas, il y a un métier de départ et un métier d'arrivée. Nous avons d'ailleurs commencé un travail dans cette direction avec une étudiante de maîtrise qui a déjà recueilli des données auprès de 360 personnes dans des cabinets de recrutement ou dans des bureaux de l'ANPE. Des questions concernant les six dimensions de Smith et Ellsworth ont aussi été recueillies. Ainsi, nous espérons pouvoir faire la part des facteurs (analytiques) et affectifs. Ces données sont en cours de traitement.

Enfin, il faudra aborder la question de la compatibilité de notre modèle avec les grandes heuristiques décrites dans la littérature (représentativité, disponibilité, ancrage-ajustement, etc.).

#### **IV. INVESTIGATIONS DE LA FLEXIBILITE**

Notre travail sur la flexibilité n'a été jusqu'ici que préliminaire. Il reste en effet de nombreux points à établir empiriquement : l'existence des rupteurs est pour l'instant purement hypothétique même si nous avons observé des éléments qui pourraient en être les effets. Il sera aussi important de préciser les relations entre affect et déclenchement des interventions. Cela requiert, là encore, un complément préalable d'investigation des processus affectifs. Enfin, la dernière expérience que nous avons présentée ouvre sur une nouvelle problématique par rapport à la flexibilité. En effet, selon notre modèle, les rupteurs déclenchent des interventions mais le système cognitif est censé se stabiliser « spontanément » ensuite. Dans le cas où la stabilisation peut se faire aussi bien en ajustant la représentation aux données que les données à la représentation, que se passera-t-il ? Est-ce que les informations des deux types seront modifiées ? Est-ce qu'un type d'information sera pris par les sujets comme point d'ancrage tandis que l'autre sera ajusté ? Qu'est-ce qui détermine le choix d'un type de données ou l'autre comme point d'ancrage ? Toutes ces questions devront faire l'objet d'investigations<sup>1</sup>.

\* \* \*

Nous arrivons maintenant à la partie du projet qui représente la plus grande difficulté par rapport à ce qui a été réalisé : le passage à l'implémentation de nos idées théoriques sous forme de simulations computationnelles.

---

<sup>1</sup> On pourra bien sûr rapprocher ces questions des travaux sur le poids relatif de l'information a priori et de l'information nouvelle dans la révision bayésienne...



## CHAPITRE VIII : PROJET D'IMPLEMENTATION

Précisons d'emblée que la distinction entre recherches expérimentales et simulations n'est en réalité que de principe car le test de la validité externe des simulations se nourrit de données expérimentales qu'il faut bien produire. Réciproquement, rien n'empêche, après coup, de reprendre des données expérimentales qui n'avaient pas été recueillies à des fins de simulation, et de s'en servir pour tester des modèles computationnels. Ceci posé, venons en au fait.

Compte tenu de son ambition et de la complexité des problèmes sous-jacents, il est difficile de prévoir combien ce volet implémentation prendra de temps à décoller. Quoi qu'il en soit, nous avons comme principe de toujours viser l'implémentation de nos idées théoriques car, selon nous, l'implémentation constitue dans des domaines peu formalisés comme la psychologie, la seule garante d'une véritable cohérence interne des modèles.

Après avoir présenté brièvement le choix du type d'architecture cognitive que nous avons retenue pour l'implémentation, nous présenterons les quatre grands axes de travail sélectionnés pour débiter. Le premier axe envisage la pertinence dans un domaine où l'emploi de ce concept est classique : la pragmatique conversationnelle. Le deuxième axe concerne l'implémentation d'un module affectif afin de mieux traiter les aspects utilitaires qui sont, pour l'instant largement ignorés dans les sciences cognitives. Le troisième axe concerne l'implémentation des grandes heuristiques classiques en psychologie du jugement et de la décision. Enfin, le dernier axe visera à implémenter la théorie que nous avons développée lors de notre thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle : la théorie du soutien consonnant.

### I. CHOIX D'UNE METHODE D'IMPLEMENTATION

#### I.1 Contraintes sur l'architecture retenue

A priori, deux approches sont possibles : soit le développement de modèles locaux, appropriés à chaque sous-tâche particulière, soit le rattachement de l'implémentation à une perspective plus large susceptible à terme d'intégrer de nombreux modèles. C'est la seconde option que nous avons retenue pour ce projet car même si le développement de modèles locaux présente une indéniable valeur heuristique (en montrant la faisabilité de la modélisation et en révélant les problèmes que posent l'implémentation de la théorie), nous considérons qu'à terme la psychologie cognitive devra s'orienter vers une intégration des différents modèles en un tout cohérent. C'est pourquoi, plutôt que de réaliser un modèle spécifique pour chaque tâche particulière, nous préférons d'emblée chercher à rattacher les modèles théoriques proposés aux premières tentatives (commencées au début des années 90) de produire une théorie

unifiée de l'architecture et des processus cognitifs.

Outre ces contraintes très générales, nous avons besoin d'une architecture qui soit globalement compatible avec les différents modèles théoriques que nous souhaitons implémenter. Enfin, nous avons besoin d'une architecture suffisamment ouverte pour pouvoir intégrer d'éventuels ajouts liés à nos besoins propres.

## I.2 ACT-R

Notre choix s'est porté sur l'architecture cognitive ACT-R (Anderson, 1993; Anderson & Lebiere, 1998). ACT-R est une théorie implémentée de l'architecture cognitive, simulant les principes de base du système cognitif humain. Cette architecture a reçu de très nombreuses validations expérimentales et est largement compatible avec les acquis de la neurophysiologie de la cognition humaine.

### Représentation des connaissances dans ACT-R

ACT-R est une architecture hybride. Au niveau symbolique on peut décrire les connaissances explicites, appelées *connaissances déclaratives* (les souvenirs et les connaissances générales de l'agent modélisé). Les connaissances déclaratives constituent un réseau sémantique. Les briques de ce réseau (appelées *chunks*) se composent chacune d'un symbole central (l'étiquette du chunk) et d'une liste de propriétés pouvant être instanciées par d'autres chunks. Au niveau subsymbolique, chaque chunk est associé à une « quantité d'activation » qui traduit l'accessibilité à la conscience de cette connaissance : plus un chunk est activé, et plus il est probable que cette connaissance soit capable de déclencher des règles de raisonnement. Réciproquement, lorsque le sujet admet un chunk comme but conscient, celui-ci et tous les chunks qu'il incorpore deviennent des sources d'activation. Les chunks étant liés entre eux, l'activation circule depuis certains chunks « sources » (ceux qui sont actuellement dans le focus attentionnel) vers l'ensemble des chunks de la mémoire déclarative sémantiquement liés. L'activation d'un chunk  $A_i$  est calculée par l'équation suivante :

$$A_i = B_i + \sum_j W_j S_{ji} + \sum_k P_k M_{ki} + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (\text{eq. VIII.1})$$

où  $B_i$ , est le niveau d'**activation de base** du chunk. Il dépend essentiellement de la fréquence d'utilisation passée du temps et du temps écoulé depuis la dernière utilisation.  $W_j$  et  $S_{ji}$  définissent l'**activation circulante** reçue du contexte,  $W_j$  étant l'activation du chunk  $A_j$  et  $S_{ji}$  la force du lien entre la chunk  $A_i$  et le chunk  $A_j$ . Le produit  $P_k M_{ki}$  représente un bonus (ou une pénalité) reçue par le chunk lorsqu'une récupération délibérée en mémoire est déclenchée.  $M_{ki}$  traduit le degré de similarité entre le chunk  $i$  et la condition  $k$  dans la requête en mémoire et  $P_k$  est un paramètre permettant d'ajuster le poids de la spécification dans la détermination de l'élément qui sera récupéré. Enfin,  $\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$  sont des paramètres de bruit aléatoire. Ce mécanisme de diffusion a pour conséquence que les informations les plus probablement utiles dans le

contexte seront aussi les plus probablement sélectionnées pour un traitement élaboré. Il faut noter que, dans ACT-R, le chunk qui code le but de la tâche en cours de traitement agit comme une source d'activation à partir de laquelle l'activation diffuse vers tous les chunks qui lui sont connectés. Ainsi se trouve capturée (dans certaines limites que nous n'avons pas la place de discuter ici), la notion que la pertinence est à envisager comme dépendante du but en cours de traitement.

L'autre type de connaissances modélisé correspond aux savoir-faire de l'agent : les *connaissances procédurales*. Au niveau symbolique, une inférence élémentaire est ainsi modélisée comme l'exécution d'une règle de type <si condition, alors action>. La partie condition de chaque règle se compose d'une série de définitions des propriétés que doivent posséder les chunks de la mémoire déclarative (ou des buffers d'entrées sensorielles) qui peuvent déclencher l'exécution de la règle. Une règle ne peut s'exécuter que si les chunks qui possèdent les propriétés satisfaisantes pour remplir ses conditions sont suffisamment activés. L'action peut consister à créer un nouveau chunk en mémoire déclarative, opérer une action motrice, déclencher une récupération en mémoire déclarative, etc. Au niveau subsymbolique, les connaissances procédurales sont associées à des quantités d'activation dont la valeur dépend notamment de la qualité de l'appariement de la partie condition avec les chunks activés en mémoire déclarative. Par exemple si un sujet a le but actuel d'effectuer une addition, toutes les règles dont la partie condition spécifie que le but est de faire une addition reçoivent de l'activation. Lorsque les conditions de plusieurs règles sont satisfaites, un mécanisme de résolution de conflit choisit sélectionne la règle ayant la plus haute utilité espérée. L'utilité d'une règle  $i$  est donnée par l'équation

$$U_i = P_i G - C_i + \varepsilon \quad (\text{eq. VIII.2})$$

où  $P_i$  est la probabilité que la règle permette d'atteindre le but,  $G$  est la valeur motivationnelle du but, et  $C_i$  est le coût d'utilisation de la règle (i.e., son temps d'exécution). La probabilité qu'une règle donnée s'exécute est alors

$$p(i) = \frac{e^{U_i / \sqrt{2}s}}{\sum_j e^{U_j / \sqrt{2}s}} \quad (\text{eq. VIII.2})$$

où  $j$  prend ses valeurs dans l'ensemble des règles dont les conditions sont satisfaites et où  $s$  est un paramètre de bruit aléatoire qui conditionne la distribution des  $\varepsilon$  dans (eq. VIII.2).

### Modéliser dans ACT-R

Construire un modèle ACT-R revient à décrire et éventuellement à paramétrer l'ensemble des connaissances déclaratives et procédurales que les sujets simulés sont censés avoir acquis lorsqu'ils possèdent la compétence à modéliser. ACT-R permet

aussi de modéliser l'apprentissage de ces connaissances. En résumé, en utilisant l'architecture ACT-R on peut décrire des connaissances et des règles de déduction de façon similaire à ce qu'on fait en logique, mais le contrôle de la série des opérations peut aussi faire intervenir des paramètres d'ordre subsymboliques comme l'expérience de l'agent, l'état du contexte, etc. Ces propriétés subsymboliques permettent, entre autres, de modéliser des comportements partiellement stochastiques, et donc d'expliquer certains patterns d'erreur. L'emploi d'une modélisation ACT-R a donc essentiellement une visée descriptive, non normative.

### Avantages d'ACT-R

Un premier avantage est que cette architecture est généralement considérée comme l'architecture la plus plausible psychologiquement actuellement. Une architecture comme SOAR présente d'autres avantages pour l'intelligence artificielle mais au prix d'une moindre plausibilité psychologique (Cooper & Shallice, 1995 ; Johnson, 1997), tandis qu'une architecture comme EPIC est assez plausible concernant la cognition périphérique mais ne rend pas vraiment compte de la cognition centrale).

Un deuxième avantage de l'architecture ACT-R est sa complète compatibilité de principe avec notre propre théorie, jusque dans le statut donné à l'activation. En effet, dans ACT-R l'activation d'un chunk représente la probabilité que l'information portée par ce chunk soit pertinente étant donné le contexte considéré. ACT-R permet ainsi de modéliser à la fois des traitements qui sont clairement du niveau de la pensée symbolique (comme le langage ou le raisonnement mathématique) et des processus qui se laissent habituellement mieux décrire par des approches subsymboliques (comme la reconnaissance de formes).

Un troisième avantage d'ACT-R est d'inclure un interfaçage entre le modèle de cognition centrale, les buffers d'entrées perceptives, et les effecteurs moteurs. Ainsi, il existe actuellement des modèles ACT-R capable de simuler, entre autres, le raisonnement inductif (Haverty et al, 2000), l'interprétation de métaphores (Salvucci & Anderson, 2001), mais aussi la charge mentale (Lebiere, 2001), la circulation des mouvements oculaires (Salvucci, 2001), etc. De façon intéressante, l'architecture ACT-R présente en outre une plausibilité neurobiologique croissante du fait d'un effort constant mené par la communauté des développeurs de cette architecture pour rendre compatible la théorie avec le développement des connaissances au niveau neurophysiologique (e.g., Sohn et al., 2002, Anderson & Lebiere, sous presse).

Enfin, pour terminer cette liste (non exhaustive) des mérites d'ACT-R, un avantage crucial pour nous est la possibilité qu'offre ACT-R d'être facilement modifiable par le modélisateur. En effet, dans la mesure où l'on souhaite interfacier ACT-R avec des modules cognitifs non encore implémentés nativement dans l'architecture, il suffit d'écrire les procédures correspondantes dans des modules LISP séparés. Ces modules peuvent lire sans difficulté les contenus de mémoire déclarative et procédurale,

ainsi que les modifier. Nous pouvons ainsi envisager l'implémentation de modules affectifs ou spécifiquement dédiés au traitement du langage.

Bien entendu, ACT-R possède aussi de nombreux inconvénients. Pour ne prendre qu'un exemple, la diffusion d'activation dans ACT-R ne se fait que sur un niveau. Toutefois, du fait de la possibilité de réécrire certaines fonctions de l'architecture, nous ne voyons pas d'inconvénient véritablement rédhibitoire à son utilisation.

Après cette présentation, nous sommes maintenant en mesure d'exposer les premiers projets d'implémentation que nous comptons réaliser.

## **II. TRAITEMENT DE LA PERTINENCE DANS LE LANGAGE**

### **II.1 Historique du projet**

Une première implémentation de la valeur de pertinence a été commencée dans le cadre d'un contrat obtenu par l'ACI Cognitive « Action ». Ce projet a été réalisé en collaboration avec des équipes de chercheurs en intelligence artificielle de l'IRIT (équipe de Andreas Herzig) et avec des chercheurs en linguistique de l'ERSS. Le projet se déclinait en deux axes, celui qui nous occupait concernant la modélisation de la pertinence dans l'interprétation d'actions de communications. La question de la meilleure interprétation des actions communicatives, d'un point de vue général, est celle du degré de pertinence de cette interprétation par rapport au contexte. Comme l'ont montré Sperber et Wilson (1986), la réponse à cette question est essentielle à la compréhension de la communication langagière humaine.

Avec Dominique Longin (Chargé de recherches en intelligence artificielle à l'IRIT), nous avons réalisé un premier modèle ACT-R pour implémenter l'interprétation d'une classe particulière d'actes de langage, les directifs (selon la classification de Searle). Nous nous sommes appuyés sur une analyse formelle des actes de langages indirects réalisés par une équipe interdisciplinaire de linguistes et de chercheurs en intelligence artificielle (Champagne et al., 2002). En procédant par aller-retour entre les modélisations normatives et les développements ACT-R nous avons défini et implémenté un ensemble d'heuristiques susceptibles de réaliser l'interprétation des actes directifs indirects (Longin & Raufaste, 2003), les « schémas d'indirection ». A terme, nous généraliserons le modèle à trois autres cas (assertifs, engageants, déclaratifs) ainsi qu'à l'interprétation d'implicatures conversationnelles.

Afin de poursuivre ce travail, nous avons donc monté un nouveau projet regroupant de nouveau des psychologues, des chercheurs en intelligence artificielle et des linguistes. Nous sommes le responsable scientifique de ce nouveau projet pour lequel nous venons d'obtenir un financement de 2 ans<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> dans le cadre du programme interdisciplinaire TCAN du CNRS (Traitement des Connaissances, Apprentissage et NTIC, <http://www.cnrs.fr/DEP/prg/TCAN/Appel1Projets/ProjetsAcceptes.html>).

## II.2 Perspectives à court et moyen terme

Nous présentons maintenant les travaux que nous projetons de réaliser sur ce projet

### Introduction d'un traitement incrémental

Notre premier modèle est actuellement fonctionnel pour sa capacité à générer automatiquement l'interprétation indirecte de nombreux cas de directifs mais il le fait en un temps simulé déraisonnable, si on le compare au temps que met un humain. Depuis que Just et Carpenter (1980) ont émis l'hypothèse d'un traitement immédiat de l'information, de nombreux travaux en psycholinguistique ont montré la plausibilité d'une construction incrémentale du sens d'un énoncé. Autrement dit, l'on accède au sens dès que c'est possible et pas seulement après avoir attendu la fin de la phrase. Par exemple, si à table on entend le début d'énoncé « Peux-tu me passer... », on anticipe déjà, avant d'entendre la suite de la phrase, que l'intention du locuteur est probablement que nous lui faisons passer quelque chose (interprétation indirecte) et pas de savoir si oui ou non nous sommes capables de le faire (interprétation directe). Pour traiter ce problème, nous allons reprendre les mêmes heuristiques d'interprétation mais nous allons remplacer l'approche séquentielle que nous avons adoptée jusqu'ici par une approche incrémentale (l'interprétation se déroulera en temps réel par anticipation du sens le plus probable au moment même de l'élocution de l'énoncé littéral).

### Prise en charge de l'input textuel par le modèle

La plus récente évolution d'ACT-R inclut un ensemble de modules capables d'implémenter une interface sensori-motrice entre la cognition centrale et l'environnement. En particulier, l'architecture peut lire du texte et appuyer sur les touches d'un clavier d'ordinateur. Nous comptons profiter de ces capacités pour présenter l'information au modèle exactement de la même façon qu'aux sujets humains. Les comportements de ces derniers seront confrontés aux comportements du modèle. Cette nouvelle approche est tout à fait compatible avec un traitement incrémental.

### Développement d'un analyseur syntaxique limité

Avant d'espérer traiter le problème de l'interprétation, nous devons résoudre le problème de l'analyse syntaxique. Récemment Budiu et Anderson (sous presse) ont proposé un modèle ACT-R de l'interprétation métaphorique doté d'un analyseur syntaxique en anglais. Nous pensons reproduire un analyseur similaire pour le français. Il est clair que nous ne chercherons pas à produire un analyseur complet capable de traiter tous les énoncés de la langue. Tout ce dont nous avons besoin est d'un analyseur qui nous permette de reconstruire automatiquement la structure syntagmatique, et que cet analyseur soit capable de prendre en charge la diversité des énoncés que nous serons susceptibles d'utiliser dans nos expériences avec les sujets humains. Cet analyseur nous donnera une structure syntagmatique qui sera combinée avec la struc-

ture sémantique construite parallèlement.

Un problème que nous devrons traiter, en rapport avec l'analyseur syntaxique, est celui des expressions idiomatiques. Par exemple, juste après avoir lu « train » dans « Jean est en train... », une interprétation plausible peut renvoyer à l'expression « être en train de », tandis qu'une autre renvoie au mode de locomotion que Jean emprunte actuellement. Les attentes sur la suite de la phrase seront bien entendu différentes. Ces expressions posent des problèmes particuliers (eg., Denhière & Verstiggel, 2003 ; Pariollaud, Denhière & Verstiggel, 2003) que dans un premier temps nous prévoyons de traiter à l'aide d'un petit lexique limité aux expressions utilisées dans les stimuli expérimentaux. Mais cette solution n'est pas satisfaisante et il faudra réaliser un traitement plus systématique de ce problème.

### Modélisation de l'acquisition d'expertise

Si la relation entre le thème de l'interprétation d'actes indirects et la question de l'optimisation des processus chez l'expert peut paraître lointaine, en fait il est raisonnable de considérer que tout individu adulte est un expert du langage : l'interprétation non littérale prend longtemps à acquérir mais est bien maîtrisée chez les plupart des adultes normaux. A partir de là, modéliser cette compétence même chez le sujet moyen revient bien à modéliser une expertise. L'avantage de commencer par cette situation est que le contexte, facteur fondamental de la pertinence, peut être manipulé sur des scénarios fournis textuellement aux sujets.

Néanmoins cette approche est insuffisante : nous pensons qu'il faut être capable de modéliser non seulement le sujet expert, mais aussi de développer un modèle qui, partant d'un niveau de « non expert » est capable d'atteindre le niveau expert. Cette question peut-être abordée par deux voies différentes.

La première voie consiste à placer des sujets adultes dans des situations inhabituelles. Par exemple, on peut leur faire interpréter des énoncés présentés comme issus d'individus issus d'une culture où les règles de politesse sont différentes. Il sera d'abord construit un « modèle naïf », incapable d'interprétations non littérales des énoncés mais qui, confronté à l'expérience, devrait se transformer progressivement pour atteindre la forme actuelle du « modèle expert ». Dans une deuxième étape, nous repartirons du « modèle expert » pour l'étendre au traitement des actes de langage de types autres que directif. Pour finir, le « modèle naïf » sera testé dans sa capacité à apprendre ces autres types d'actes de langage. Ces simulations seront réalisées par Dominique Longin et nous même.

La seconde voie requerrait de modéliser l'apprentissage de ces processus d'interprétation chez les enfants. En effet, contrairement aux adultes, les enfants ne possèdent pas de procédure déjà disponible transférable dans la nouvelle situation. Malheureusement, la personne qui devait s'occuper de cet aspect dans le projet TCAN a du quitter la France pour des raisons de vie privée et nous ne savons pas à

quel terme nous pourrions retrouver une collaboration avec des chercheurs intéressés par ces questions tout en ayant un accès à des populations d'enfants.

### Amélioration de la modélisation du contexte et LSA

La première implémentation que nous avons réalisée présentait un défaut (outre son caractère non incrémental), à savoir une modélisation très frustrante du contexte : les contextes étaient simplement fournis sous forme d'un chunk code et les connaissances spécifiques codant ce contexte contenaient ce chunk. Ainsi, lorsque le chunk but portait un code contexte donné, les connaissances liées à ce contexte s'en trouvaient automatiquement activées par les processus normaux de diffusion d'activation d'ACT-R. Bien que cela marche à un certain niveau, il est clair qu'il s'agissait là d'une solution technique rigide à tous points de vue et absolument non plausible psychologiquement.

Une solution a été utilisée dans différentes modélisations pour rendre compte d'effets de contexte plus fins : l'utilisation de l'analyse sémantique latente (LSA). Cette méthode repose sur la modélisation préalable d'un corpus large (entre  $10^5$  et  $10^7$  mots) dans un espace vectoriel contenant au minimum une centaine de dimensions. Chaque mot possède un jeu de coordonnées dans cet espace et l'on peut construire des vecteurs à partir de tout ensemble non vide de mots. Le cosinus de l'angle entre deux séquences de 1 à  $n$  mots traduit alors la distance entre ces vecteurs, distance qui représente la dissemblance de ces vecteurs. Plusieurs modélisations du langage intègrent les valeurs données par LSA dans des calculs plus larges (voir Kintsch, 1998 pour des modèles dans le cadre construction-intégration ; Budiu & Anderson, sous presse pour une utilisation dans ACT-R). En général, ces valeurs sont entrées à la main dans les modèles mais, potentiellement, rien n'empêche d'automatiser l'accès aux calculs de similarité.

Le recours à LSA pose cependant certains problèmes. Peut-être le plus important de ces problèmes est que les calculs de similarités reposent sur la modélisation préalable d'un corpus. Il faut donc que ce corpus soit représentatif des corpora auxquels ont été exposés les sujets à modéliser. Si l'on prend un corpus comme les textes du monde, par exemple, ce corpus sera extrêmement peu représentatif de ce à quoi auront été exposés des enfants en âge d'apprendre le traitement des actes de langages non littéraires.

### **II.3 Perspective à plus long terme : construction-intégration dans ACT-R**

Si l'on s'intéresse aux modèles computationnels psychologiquement plausibles du langage, le modèle construction-intégration, aussi dénoté « modèle CI » (e.g., Kintsch, 1988, 1998, 2003) est probablement le plus abouti. Dans ces conditions il nous paraît nécessaire qu'il soit implémenté d'une façon compatible avec l'architecture ACT-R -étant donné la vocation universaliste de celle-ci.

Selon le modèle CI, les informations sont représentées en mémoire de travail sous



forme de propositions, lesquelles forment un « réseau de propositions ». Selon ce modèle, l'information est portée par des « propositions atomiques » (un prédicat + ses arguments) et complexes qui sont composées de plusieurs propositions atomiques subordonnées à une signification propositionnelle centrale (Van Dijk & Kintsch, 1983). Les propositions ainsi constituées constituent un réseau, chaque proposition étant dotée d'une quantité d'activation. Comme il est très facile de recoder une proposition, simple comme complexe, dans le formalisme des chunks utilisé par ACT-R, il n'y a pas de problème de compatibilité à ce niveau.

Lors de la phase de construction le réseau est construit. Outre les propositions qui sont lues dans le texte, le sujet récupère des informations dans sa mémoire à long terme (par exemple des connaissances générales sur les objets ou sur le déroulement des situations similaires à celles présentées dans le texte). La compréhension apparaît ainsi comme un processus cyclique alternant phases de prises d'information et phase d'intégration de l'information entrante avec le contexte (lequel contient notamment les interprétations précédemment réalisées).

En soi, tout cela ne paraît pas différent de ce que l'on peut faire avec ACT-R mais si l'on rentre plus en détail dans ce qui se passe lors de la phase d'intégration, des différences très sensibles apparaissent. Lors de la phase d'intégration, l'activation circule dans le réseau propositionnel jusqu'à ce que la distribution d'activation converge vers une valeur stable. La ou les propositions les plus activées, présumées les plus importantes, sont alors conservées en mémoire de travail pour le traitement du cycle suivant. Dans ACT-R, l'activation est directement calculée, le calcul n'est pas itératif. Outre cette différence dans le mécanisme de convergence, le cœur du problème réside, selon nous, dans la différence d'interprétation qui existe entre l'activation dans ACT-R et dans le modèle CI. Dans ce dernier l'activation traduit la similarité entre les éléments alors que dans ACT-R il traduit la probabilité que l'élément considéré soit utile. Dans une modélisation récente du traitement des métaphores réalisée par Budiu et Anderson (sous presse), les auteurs ont réécrit la fonction d'activation de ACT-R pour que celle-ci calcule des similarités. On obtiendrait alors quelque chose de plus compatible avec le modèle CI et qui donne de résultats intéressant avec les sujets. Mais ce faisant on perd la compatibilité avec la quasi-totalité des modèles ACT-R passés... et à venir !! Le travail de Budiu et Anderson ne peut donc en aucun cas être satisfaisant puisqu'il viole le principe même d'ACT-R.

Nous proposons une solution. De même qu'il y a des modules spécifiques pour gérer les entrées sensorielles ou les sorties motrices, nous proposons de considérer qu'il existe un module (ou un ensemble de modules) spécifiquement dédiés au traitement du langage. Ce serait ce module qui piloterait le processus d'intégration, et en particulier l'activation de diffusion d'activation jusqu'à obtention d'une solution convergente. Après intervention de ce module, l'activation pourrait effectivement représenter des similarités (encore que modulable par les aspects attentionnels, ...). Par contre,

en dehors des valeurs modifiées par ce module, l'activation fonctionnerait comme d'habitude dans ACT-R. Divers problèmes de compatibilité sont cependant à résoudre : Par exemple, les cycles de diffusion d'activation décrits par Kintsch dans le processus d'intégration sont censés allonger le temps de réponse des sujets (cf., Kintsch, 2003). Chaque cycle est-il donc déclenché par une règle de production ? C'est ce type de questions qu'il nous faudra traiter.

### **III. HEURISTIQUES DE JUGEMENT ET DE DECISION**

Un grand nombre d'heuristiques ont été décrites et abondamment documentées par les psychologues du jugement et de la décision, travaux d'ailleurs récemment récompensés par un prix Nobel d'économie décerné à Daniel Kahneman. Initialement constitué de processus dont l'existence est maintenant bien établie, comme l'heuristique de représentativité ou l'heuristique d'ancrage-ajustement, le catalogue de ces heuristiques s'est étendu au point qu'une conception de plus en plus répandue consiste à considérer le système cognitif comme une « boîte à outils » (Gigerenzer et al., 1999). Ce catalogue n'est pas achevé, loin s'en faut, mais il est déjà suffisamment rempli pour que, au delà de la modélisation de chaque heuristique particulière, se pose la question des mécanismes par lesquels la sélection de l'heuristique la plus appropriée est réalisée.

Pour diverses raisons, les sciences de la décision et les sciences cognitives se sont attachées à décrire des tâches assez différentes. Plusieurs auteurs s'accordent actuellement pour reconnaître le besoin d'une intégration de ces deux champs, mais en attendant, il n'existe aucune modélisation sérieuse en Sciences Cognitives des processus de décision. Les sciences de la décision manquent, quant à elles, du savoir faire en modélisation non linéaire, ainsi que d'une architecture cognitive globale qui permettrait de faire mieux qu'une juxtaposition syncrétique de modèles locaux (heuristique par heuristique). L'idée globale est donc ici d'utiliser l'architecture ACT-R comme cadre intégrateur de la « boîte à outil ». Chaque heuristique sera vue comme une règle (ou un ensemble de règles) en compétition avec les autres règles selon les principes classiques d'ACT-R. Ces principes ne sont en l'occurrence rien d'autre qu'une modélisation des principes de fonctionnement de la mémoire procédurale en relation avec l'état du réseau sémantique que constitue la mémoire déclarative. Concrètement, le projet consistera à développer des règles heuristiques dans un même modèle de jugement et de décision, d'abord individuellement pour chaque heuristique, puis à mettre ces règles en compétition. Au plan empirique, nous pourrions nous borner à répliquer des expériences bien connues et bien établies pour obtenir des données susceptibles de nourrir la modélisation des heuristiques individuelles. Il faut noter que, dès que le module affectif décrit à la section précédente commencera à être fonctionnel pour la dimension valence, il sera possible d'ajouter l'heuristique d'affect dans la boîte à outils. L'implémentation de notre « théorie du support consonant » (cf. partie bilan) pourra commencer dès que la modélisation de l'heuristique d'ancrage-

ajustement sera réalisée. En revanche, l'implémentation complète de la théorie exigera nécessairement que le module affectif soit lui aussi développé.

Dans un second temps, il faudra procéder à des recueils de données plus ambitieux dans des tâches mettant en compétition diverses heuristiques. Par exemple sur une tâche exigeant la mobilisation de probabilités subjectives, les différentes heuristiques permettant de produire une probabilité subjective entrent en compétition. Les expériences jusqu'ici construites dans la littérature se sont attachées à manipuler le contexte afin de favoriser l'activation d'une heuristique bien précise, dans le but d'en étudier les propriétés intrinsèques. Ici l'approche sera différente puisqu'il s'agira de construire des situations non spécifiques d'une heuristique particulière pour étudier comment se fait la compétition entre les heuristiques.

#### **IV. ROLE DE L'AFFECT DANS LA PERTINENCE**

Il semble que les relations entre pertinence et affect soient plus complexes qu'on aurait pu l'imaginer initialement, c'est-à-dire en ne prenant en compte que l'aspect "valence" de la réponse émotionnelle. Pour cette raison, nous proposons de scinder en deux étapes notre approche descriptive des relations entre affect et pertinence. La première étape visera à fournir des indications complémentaires sur la structure de l'affect et ses relations aux processus de jugement et de décision. La seconde étape consistera à développer un module affectif dans l'architecture ACT-R pour ensuite simuler les processus de jugement et de décision.

##### **IV.1 Implémentation d'un module affectif**

Les Sciences de la Décision ont reconnu depuis assez longtemps le rôle majeur de l'affect dans la décision mais sont restées en dehors des développements sur la simulation de l'architecture cognitive humaine. Jusqu'à une période très récente, et pour des raisons qui tiennent à l'histoire des Sciences Cognitives, les aspects affectifs ont été largement ignorés, ou traités comme de simples parasites de l'activité mentale. Il s'ensuit qu'aucune architecture cognitive computationnelle existant à ce jour n'intègre de module affectif, ni n'est capable de traiter l'affect. Il existe tout de même quelques modèles connexionnistes locaux de l'intégration de l'affect et de la cognition dans la perception du risque (e.g., Nerb et al., 2001). Dans cette perspective, et compte tenu du rôle majeur de l'affect dans l'évaluation de pertinence, notre projet consiste à ajouter un module affectif à l'architecture cognitive ACT-R. Le projet consiste à nous appuyer sur les nombreux travaux ayant été réalisés dans d'autres secteurs de la psychologie ou des neurosciences, pour développer un modèle affectif qui sera capable de prendre en charge ces aspects en relation avec le reste de l'architecture. Un travail en ce sens a déjà été commencé, en collaboration avec Christian Lebiere (Carnegie-Mellon University). Fondamentalement, il s'agit d'ajouter une modulation affective au calcul standard de l'activation des chunks dans le réseau sémantique. Ainsi, actuellement, tout chunk en mémoire déclarative possède une valeur d'activation qui est la

somme de son activation de base (laquelle dépend notamment de sa fréquence d'utilisation) et de l'activation circulante, c'est la dire la somme des activations des chunks sémantiquement reliés, activations pondérée par la force des liens. A chaque chunk, il est prévu d'ajouter une valeur affective alimentée par le module affectif au moment de la création du chunk et traitée ensuite comme n'importe quelle autre propriété des chunks pour la récupération. Le problème théorique qui reste à résoudre avant de commencer l'implémentation est d'obtenir une fonction d'activation qui combine de façon satisfaisante les différentes dimensions de l'affect. C'est pourquoi nous serons plus à même de procéder vraiment à cette étape lorsque nous disposerons des résultats des investigations décrites dans la section précédente.

Après une phase d'élaboration théorique approfondie qui reste à mener, et à implémenter, il s'agira concrètement d'appliquer le modèle aux données expérimentales issues d'une réplcation sur sujets sains d'une expérience connue de l'équipe de Damasio (Bechara et al., 1994, 1997). Si l'on parvient à produire un modèle computationnel satisfaisant, il restera alors à l'appliquer pour la modélisation de l'ensemble des travaux en psychologie de la décision qui, bien qu'extrêmement riches, ne sont généralement pas implémentés dans des simulations computationnelles de l'humain.

## CHAPITRE X : PROJETS DE RECHERCHE APPLIQUEE

Nous ne doutons pas qu'au fur et à mesure que nos travaux se développeront, des applications naturelles pourront leur être trouvés. Pour l'instant nous limitons cette section aux projets immédiatement envisageables.

### I. APPLICATION A LA MEDECINE

#### I.1 Étude des mécanismes de récupération de l'erreur

Nous l'avons dit, étudier la récupération de l'erreur est une question importante car plus une valeur est importante et plus on peut s'attendre à ce que des mécanismes de récupération soient mis en place pour combattre les défaillances du système.

L'étude de la récupération de l'erreur est toutefois extrêmement difficile car elle suppose une détection précoce (avant que les conséquences négatives n'en découlent). Un processus de récupération doit donc s'appuyer sur des mécanismes de détection de l'erreur. A priori on devrait pouvoir repérer ces mécanismes de détection. En outre, détecter une erreur ne permet de la récupérer que si l'on dispose d'un mécanisme capable de déclencher un processus de modification de l'activité. D'une certaine façon, l'étude de la récupération de l'erreur constitue donc une partie de l'étude de la flexibilité cognitive.

Un critère de l'importance de récupérer l'erreur pourra être l'existence de redondance dans les mécanismes de traitement et/ou de récupération de l'erreur. Par exemple, l'aviation est un domaine qui ne tolère pas la panne. Les systèmes de contrôle y sont doublés, voire triplés. Ainsi, réciproquement on peut soupçonner l'importance à partir du constat de la redondance.

Une approche plus complète devra en compte simultanément les erreurs récupérées et non récupérées, ce qui permettrait de produire des informations sur les causes de non récupération comme sur les causes de récupération. Un problème majeur pour l'étude du mécanisme de détection est de pouvoir différencier entre la non perception des indices qui permettent de détecter l'erreur, et le traitement erroné de ces indices. Dans le premier cas, le sujet n'a tout simplement pas perçu l'indice et ne pouvait de ce fait pas déclencher une récupération. Les processus de remédiation envisageables consistent alors à trouver des moyens d'orienter l'attention du sujet sur les indices qu'il faut percevoir. Dans le second cas, le sujet a perçu l'indice mais les traitements pré-attentionnels ont catégorisé à tort l'indice perceptuel comme quelque chose de « normal ». Là, le problème est plus complexe : il faut identifier les sources cognitives de cette mauvaise catégorisation. Malheureusement, il ne faut pas compter pour cela sur l'aide consciente des sujets puisque ces mécanismes sont le plus souvent pré-attentionnels. Une technologie comme l'enregistrement des mouvements ocu-

lares peut rendre de grands services à cet égard. En effet, elle permet d'objectiver des différences entre les erreurs détectées mais rejetées à un niveau préconscient, et les erreurs tout simplement non détectées. Nous disposons d'un dispositif d'enregistrement des mouvements oculaires, que nous avons appris à utiliser (e.g., Lê, Raufaste, Démonet, 2003 ; Lê, Raufaste, Roussel, et al., 2003).

## **I.2 Correction des miscalibrations inappropriées**

Nous avons publié et présenté ici des travaux sur ce que nous avons appelé la miscalibration des jugements de douleur. Avant de pouvoir passer à des recommandations en direction des médecins, il nous faut encore comprendre un certain nombre de choses. En particulier, quelle relation y a-t-il entre la miscalibration et la prescription d'antalgiques d'une part, de traitements directs d'autre part. Il n'est en effet pas impossible qu'une miscalibration au niveau des jugements ne serve pas à compenser quelque biais de décision comme la littérature en a répertorié en nombre. D'autre part, bien que nous soyons d'ores et déjà sûrs qu'une partie des effets de miscalibration soient non normatifs (car le sexe du médecin ne devrait pas entrer en ligne de compte dans la façon dont les jugements de douleur du patient sont portés), il reste à déterminer les meilleures recommandations à faire pour compenser ces effets. Une première étude est déjà en cours dans cette perspective.

## **II. THEORIE DES ENSEMBLES FLOUS ET MESURE DE LA CHARGE MENTALE SUBJECTIVE**

Outre les réalisations précédentes, qui constituent un programme de recherche autonome et cohérent, une autre recherche plus orientée vers l'application est en cours dans le cadre d'un contrat interdisciplinaire financé par l'INRS, contrat dont je suis le responsable scientifique. Les équipes participantes sont le LTC (Patrice Terrier et moi-même), l'IRIT (Jérôme Lang et Henri Prade), et le LIP6 (Michel Grabisch). Le thème du projet est l'application des méthodes d'agrégation de mesure dérivées de la théorie des ensembles flous à l'acquisition et au traitement des données pour l'évaluation subjective de la charge de travail à dominante mentale. La première tranche de ce contrat est terminée.

En résumé, la NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988), index de charge mentale développé par la NASA, est la méthode la plus classique de mesure de la charge mentale. Elle consiste à mesurer des scores sur six dimensions considérées comme les sources de charge les plus importantes, à obtenir des mesures d'importance de la contribution relative de ces sources à la charge mentale globale, puis à faire une moyenne des scores pondérée par les importances relatives des sources. On obtient ainsi une note globale. La question posée est celle du choix de la moyenne pondérée comme opérateur d'agrégation et de l'opportunité de développer une méthode de mesure alternative qui repose sur d'autres moyens d'agrégation.

Plusieurs familles d'opérateurs d'agrégation ont été comparées à la moyenne pon-

dérée (employée dans la méthode NASA-TLX) du point de vue de leur capacité diagnostique en vue d'une utilisation ergonomique pour la mesure de la charge mentale subjective. Globalement, l'ensemble des opérateurs retenus capturait les différences de charge mentale liée à la difficulté de la tâche au moins aussi bien que la NASA-TLX. Un opérateur particulier, l'intégrale de Sugeno, s'est distingué par sa capacité à discerner aussi des différences de tâches, alors même que la NASA-TLX ne les a pas capturés.

Ces premiers résultats sont encourageants quant aux possibilités de développer une nouvelle technique de mesure de la charge de travail à dominante mentale. Néanmoins, un constat incite à la prudence. Il réside dans la difficulté de comprendre a priori pourquoi l'intégrale de Sugeno donne de meilleurs résultats alors que d'autres opérateurs ne réalisent pas, à partir des données de l'expérimentation réalisée, les mêmes performances. C'est pourquoi nous considérons que, préalablement au développement d'un nouvel outil, il importe de répondre à plusieurs questions :

1° S'assurer que l'échantillon de données obtenues dans l'expérience ne soit pas la cause purement contingente de cette différence de comportement entre les opérateurs.

2° L'opérateur particulier qui donne les résultats les plus remarquables, l'intégrale de Sugeno, met en jeu des coefficients de synergies entre critères qui ont été obtenus de manière empirique par des méthodes qui ne lui sont pas naturellement appropriées. En particulier, ces méthodes sont quantitatives alors que cet opérateur est fondamentalement qualitatif. La question est donc de comprendre ce qui fait sa supériorité.

3° Par ailleurs, des connaissances nouvelles sur les propriétés psychométriques et statistiques de ces opérateurs d'agrégation seront développées, afin de comparer leur comportement en présence de « bruit », et en particulier leur capacité à produire des différences statistiquement significatives en présence d'effets réels (leur puissance statistique en quelque sorte) et à ne pas produire de différences significatives en l'absence d'effet réel.

4° Enfin, il sera souhaitable de développer (si possible) une méthode purement qualitative d'extraction des paramètres de l'intégrale de Sugeno.

Ces travaux seront réalisés dans le cadre d'une seconde convention en cours de signature avec l'INRS.

<b>REFERENCES</b>
-------------------

- Abelson, R.P., Kinder, D.R., Peters, M.D., & Fiske, S.T. (1982). Affective and semantic components in political person perception. *Journal of Personality and Social Psychology*, 42, 4, 619-630.
- Adler, J. (1991). An optimist's pessimism: Conversation and conjunction. In E. Eells & T. Maruszewski (Eds.), *Studies on L. Jonathan Cohen's philosophy of science* (pp. 251-282). Amsterdam: Rodopi.
- Alhakami, A.S., & Slovic, P. (1994). A psychological study of the inverse relationship between perceived risk and perceived benefit. *Risk Analysis*, 14, 6, 1994.
- Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Paris : PUF.
- Amergé, C., & Mariné, C. (1992), Étude comparative expert-débutant lors de l'élaboration d'un pré-diagnostic ergonomique. *Le Travail Humain*, 55, 2, 97-117.
- Anderson, J.C., & Gerbing, D.W. (1988). Structural equation modeling in practice: A review and recommended tow-step approach. *Psychological Bulletin*, 103, 411-423.
- Anderson, J.R. (1983). *The Architecture of cognition*, Cambridge Massachusetts, Harvard University Press.
- Anderson, J.R. (1990). *The Adaptive Character of Thought*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Anderson, J.R. (1992). Automaticity and the ACT\* theory. *American Journal of Psychology*, 105, 2, 165-180.
- Anderson, J.R. (1993). *Rules of the mind*. NJ: LEA.
- Anderson, J.R., & Lebiere, C. (1998). *The Atomic Components of Thought*. Mahwah, NJ: LEA.
- Anderson, J.R., & Lebiere, C. (In press). The Newell test for a theory of Mind. *Behavioral and Brain Sciences*.
- Anderson, J.R., & Matessa, M. (1998). The rational analysis of categorization and ACT-R architecture. In M. Oaksford & N. Chater (Eds.), *Rational models of cognition* (pp. 197-217). New-York : Oxford University Press.
- Ayton, P. (1997). How to be incoherent and seductive: Bookmakers' Odds and Support Theory. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 72, 1, 99-115.
- Baars, B.J. (1988). *A cognitive theory of consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baars, B.J. (1997). *In the theater of consciousness. The workspace of the mind*. New York: Oxford University Press.



- Balota, D.A., & Paul, S.T. (1996). Summation of activation: Evidence from multiple primes that converge and diverge within semantic memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 4, 827-845.
- Barclay, S., & Beach, L.R. (1972). Combinatorial properties of personal probabilities. *Organizational Behavior and Human Performance*, 8, 176-183.
- Bar-Hillel, M. (1973). On the subjective probability of compound events. *Organizational behavior and human performance*, 9, 396-406.
- Bartfield, J.M., Salluzzo R.F., Raccio-Robak N., Funk D.L., & Verdile V.P. (1997). Physician and patient factors influencing the treatment of low back pain. *Pain*, 73, 209-211.
- Barthe, B., & Quéinnec, Y. (1999). Terminologie et perspectives d'analyse du travail collectif en ergonomie. *L'Année Psychologique*, 99, 663-686.
- Bechara, A., Damasio, A.R., Tranel, D., Damasio, H., & Anderson, S.W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50, 7-15.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A.R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275, 1293-1295.
- Benferhat, S., Bonnefon, J.-F., Da Silva Neves, R. (Sous presse). An overview of possibilistic handling of default reasoning : an experimental study. *Synthese*.
- Benferhat, S., Dubois, D., & Prade, H. (1992). Representing default rules in possibilistic logic. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Principles of Knowledge representation and Reasoning (KR'92)*, 26-29 Octobre (pp. 673-684), Cambridge, MA.
- Berbaum, K.S., Franken, E.A., Dorfman, D. D., Rooholamini S.A., Kathol , M.H., Barloon, T.J., Behike, F.M., Sato, Y, Lu C.H., El-Khoury G.Y., Flickinger, F.W., & Montgomery, W.J. (1990). Satisfaction of search in diagnostic radiology. *Investigative Radiology*, 25, 133-140.
- Blettery, B., Ebrahm, L., Honnart, D., & Aube, H. (1996). Les échelles de mesure de la douleur dans un service d'accueil des urgences. *Réanimation Urgences*, 5, 691-697.
- Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables*. New York: Wiley.
- Borum, M. (2002). Physician perception of IBS management in women and men. *Digestive Diseases and Sciences*, 47, 236-237.
- Boureau, F., & Doubrere, J.F. (1988). Le concept de la douleur. *Douleur Analgésique*, 1, 11-17.
- Bower, G.H. (1981). Mood and Memory. *American Psychologist*, 36, 2, 129-148.

- Bower, G.H. (1992). How might emotions affect learning. In S-A. Christianson (Ed.), *The handbook of emotion and memory: Research and theory* (pp. 3-31). Hillsdale, NJ:LEA.
- Brennum, J., Kjeldsen, M., & Jensen, T.S. (1989). Measurements of human pressure-pain threshold on fingers and toes. *Pain*, 38, 211-217.
- Bryan, W.L., & Harter, N. (1897). Studies in the physiology and psychology of the telegraphic language. *Psychological Review*, 4, 27-53.
- Budiu, R., Anderson, J.R. (in press). Interpretation-based processing: A unified theory of semantic sentence comprehension. *Cognitive Science*.
- Cacioppo, J.T., & Berntson, G.G (1999). The affect system: Architecture and operating characteristics. *Current Directions in Psychological Science*, 8, 5, 133-137.
- Cacioppo, J.T., Gardner, W.L., & Berntson, G.G. (1997). Beyond bipolar conceptualizations and measures: The case of attitudes and evaluative space. *Personality and Social Psychology Review*, 1, 1, 3-25.
- Cadet, B., Chossière, J., Berthelie, I., & Écolasse, M. (1995). Heuristiques et effets cognitifs dans l'évaluation du risque. *Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 49, 1, 61-77.
- Caillot M. (1984). La résolution de problèmes en physique : représentation et stratégies. *Psychologie Française*, 29, 3-4, 257-262.
- Cantor, J., & Engle, R.W. (1993). Working-memory capacity as long-term memory activation: An individual-differences approach. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19, 5, 1101-1114.
- Carlson, R.A., & Dulany, D.E. (1988). Diagnostic reasoning with circumstantial evidence. *Cognitive Psychology*, 20,4, 463-492.
- Carmody, D.P., Nodine, C.F., & Kundel, H.L. (1980). Global and segmented search for lung tumors of different edge gradients. *Investigative Radiology*, 15, 224-233.
- Carver, C. S., & Scheier, I. H. (1998). *On the self-regulation of behavior*. New York: Cambridge University Press.
- Carver, C. S., & Scheier, I. H. (2001). Optimism, pessimism, and self-regulation. In E. C. Chang (Ed.), *Optimism & pessimism: Implications for theory, research, and practice* (pp. 31-51). Washington, DC: American Psychological Association.
- Cellier, J.M., de Keyser, V., & Valot, C. (1996). *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*. Paris: PUF.
- Cellier, J.M., Eyrolle, H., & Mariné, C. (1997). Expertise in dynamic environment. *Ergonomics*, 40, 1, 28-50.

- Chaiken, S. & Trope, Y. (1999). *Dual processes in social psychology*. New-York: Guilford Publications.
- Champagne, M. Herzig, A., Longin, D, Nespoulous, J-L., & Virbel, J. (2002). Formalisation pluridisciplinaire de l'inférence de certains types d'actes de langage non littéraires. *Information - Interaction - Intelligence* (Vol. Hors série, p. 197-225), Cépaduès-Editions, Toulouse.
- Chang, L., & McBride-Chang, C. (1996). The factor structure of the Life Orientation Test. *Educational and Psychological Measurement*, 56, 325-329.
- Chase, W.G., & Ericsson, K.A. (1981). Skilled memory. In J.R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Chase, W.G., & Simon, H.A. (1973a). Perception in Chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
- Chase, W.G., & Simon, H.A. (1973b). The mind's eye in chess. In W.G. Chase (Ed.), *Visual Information Processing* (pp. 215-281). New York: Academic Press [reprinted in H.A. Simon (1979). *Models of Thought* (pp. 404-427). New-Haven: Yale University Press.]
- Cheng, S.-T., & Hamid, P. N. (1997). Dispositional optimism in Chinese people: What does the Life Orientation Test measure? *International Journal of Psychology*, 32, 221-230.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P.J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 1, 121-152.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. (2d ed.) Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Collins A.M., & Quillian M.R. (1969), Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 240-248.
- Cooper, R., & Shallice, T. (1995). Soar and the case for unified theories of cognition. *Cognition*, 55, 2, 115-149.
- Cosmides, L., & Tooby, J. (1996). Are humans good intuitive statisticians after all? Rethinking some conclusions from the literature on judgment under uncertainty , *Cognition*, 58, 1, 1-73.
- Creed, P. A., Patton, W., & Bartrum, D. (2002). Multidimensional properties of the LOT-R: Effects of optimism and pessimism on career and well-being related variables in adolescents. *Journal of Career Assessment*, 10, 42-61.
- Custers, E.J.F.M., Boshuizen, H.P.A., & Schmidt, H.G. (1996). The influence of medical expertise, case typicality, and illness script component on case processing and disease probability estimates. *Memory & Cognition*, 24, 3, 384-499.

- Da Silva Neves, R., & Raufaste, E. (2001). Polymorphism of human judgment under uncertainty. *Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty: Sixth European Conference*, (pp. 647-658), Berlin: Springer (ECSQARU-2001, Toulouse, 19-21 septembre 2001).
- Da Silva Neves, R., Bonnefon, J.F., Raufaste, E. (2002). An empirical test of patterns for nonmonotonic inference. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 34, 1, 107-130.
- Dagenbach, D., Horst, S., & Carr, T.H. (1990). Adding new information to semantic memory: How much learning is necessary to produce automatic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 4, 581-591.
- Damasio, A.R. (1995). *L'erreur de Descartes : La raison des émotions*. Paris, Odile Jacob.
- Damasio, A.R., Tranel, D., & Damasio, H.C. (1991). Somatic markers and the guidance of behavior: Theory and preliminary testing. In H.S. Levin, H.M. Eisenberg, & A.L. Benton (Eds.), *Frontal lobe function and dysfunction* (pp. 217-229). Oxford University Press.
- Dawes, R.M. (1982). The robust beauty of improper linear models. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 391-407). New York: Cambridge University Press.
- De Keyser, V., & Nyssen, A.S. (1993). Les erreurs humaines en anesthésie. *Le Travail Humain*, 56, 243-266.
- Denhière, G., & Verstiggel, J.-C. (1997). Le traitement cognitif des expressions idiomatiques : activités automatiques et délibérées. In P. Fiala, P. Lafon et M.F. Pi-guet (Eds.), *La locution: entre lexique, syntaxe et pragmatique* (119-148). Paris : Klincksiek.
- DeSteno, D., Petty, R.E., Wegener, D.T., & Rucker, D.D. (2000). Beyond valence in the perception of likelihood: The role of emotion specificity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78, 3, 397-416.
- Doherty, M.E., Schiavo, M., Mynatt, C.R., & Tweney, R.D. (1981). The influence of feedback and diagnostic data on pseudodiagnosticity. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 18, 4, 191-194.
- Dreyfus, H.L., & Dreyfus, S.E. (1986). *Mind over Machine: The power of human intuition and expertise in the era of the computer*. New York: The Free Press.
- Dubois, D., & Prade, H. (1980). *Fuzzy sets and systems*. New York: Academic Press.
- Dubois, D., & Prade, H. (1987). *Théorie des possibilités*. Paris: Masson.
- Dubois, D., & Prade, H. (1988). Modeling uncertainty and inductive inference: A survey of recent non-additive probability systems. *Acta Psychologica*, 68, 53-78.

- Dubois, D., & Prade, H. (1995a). Conditional objects, possibility theory and default rules. In G. Crocco, L. Fariñas del Cerro and A. Herzig (Eds.), *Conditionals : from Philosophy to Computer Sciences* (pp. 301-336). Oxford, Oxford University Press.
- Dubois, D., & Prade, H. (1995b). Possibility Theory as a basis for qualitative decision theory. In *Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'95)*, (Vol.2, pp. 1924-1930).
- Dubois, D., Prade, H., & Sandri, S. (1993). On possibility/probability transformations. In R. Lowen & N. Lowen (Eds.), *Fuzzy logic: State of the art*. (pp. 103-112). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Dubois, D., Prade, H., & Ughetto, L. (2002). A new perspective on reasoning with fuzzy rules. In N.R. Pal, and M. Sugeno (Eds.), *Proceedings of the 2002 AFSS International Conference on Fuzzy Systems, Advances in Soft Computing, Calcutta, India, Feb 3-6 2002* (1-11)
- Dulany, D.E., & Hilton, D.J. (1991). Conversational implicature, conscious representation, and the conjunction fallacy. *Social Cognition*, 9, 85-110.
- Duncan, J., & Humphreys, G.W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 3, 433-458.
- Eddy, D.M. (1982). Probabilistic reasoning in clinical medicine: Problems and opportunities. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 249-67). New York: Cambridge University Press.
- Edwards, C.L., & Filligim, R.B., & Keefe, F. (2001). Race, ethnicity and pain. *Pain*, 94, 133-137.
- Edwards, R.R., Doleys, D.M., Fillingim, R.B., Lowery, D. (2001). Ethnic differences in pain tolerance: clinical implications in chronic pain population. *Psychosomatic Medicine*, 63, 316-323.
- Edwards, W. (1968). Conservatism in human information processing. In B. Kleinmütz (Ed.), *Formal Representation of Human Judgment: 3rd Annual Symposium on Cognition, April 67* (pp. 17-52). New York: Wiley.
- Egbert, A.M. (1991). Help for the hurting elderly: Safe use of drugs to relieve pain. *Postgraduate Medicine*, 89, 217-222,225,228.
- Ericsson K.A., & Staszewski, J.J. (1991). Skilled memory and expertise: Mechanisms of exceptional performance. in K.A. Ericsson & J. Smith (Eds.), *Toward a general theory of expertise* (pp. 235-267). Cambridge: Cambridge University Press.
- Ericsson, K.A., & Kintsch, W. (1995). Long-term Working Memory. *Psychological Review*, 4, 211-245.

- Ericsson, K.A., Krampe, R.T., & Tesh-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100, 3, 363-406.
- Evans, J.St.B.T. (1989). *Bias in human reasoning. Causes and consequences*. Howe : LEA.
- Feldman Barrett, L.F., & Russell, J.A. (1999). The structure of current affect: Controversies and emerging consensus. *Current Directions in Psychological Science*, 8, 1, 10-14.
- Finucane, M.L., Alhakami, A., Slovic, P., & Johnson, S.M. (2000). The affect heuristic in judgments of risks and benefits. *Journal of Behavioral Decision Making*, 13, 1-17.
- Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S., & Combs, B. (1978). How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes toward technological risks and benefits. *Policy Sciences*, 9, 127-152.
- Frensch, P.A., & Sternberg, R.J. (1989). Expertise and intelligent thinking : When is it worse to know better ? In R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the Psychology of human intelligence*, Vol. 5, (pp. 163-188). Hillsdale, NJ:LEA.
- Freyhof, H., Gruber H., & Ziegler, A. (1992). Expertise and hierarchical knowledge representation in chess. *Psychological Research*, 54, 32-37.
- Frick, R.W., & Lee, Y.-S. (1995). Implicit learning and concept learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48A, 3, 762-782.
- Gallagher, E.J., Liebman, M., & Bijur, P.E. (2001). Prospective validation of clinically important changes in pain severity measured on a visual analog scale. *Annals of Emergency Medicine*, 38, 633-638.
- Gigerenzer, G. , Todd, P.M., & ABC Research Group (1999). *Simple heuristics that make us smart*. New-York: Oxford University Press.
- Gigerenzer, G., Hoffrage, U., & Kleinbölting, H. (1991). Probabilistic mental models: A Brunswikian theory of confidence. *Psychological Review*, 98, 4, 506-528.
- Gilovich, T., Griffin, D. & Kahneman, D. (1982.). *Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Glaser, R. (1985). *The nature of expertise*, occasional paper n°107, National Center for Research in Vocational Education, Colombus, Ohio.
- Gobet, F. (1998). Expert memory: a comparison of four theories. *Cognition*, 66, 115-152.
- Green, D. P., Goldman, S. L., & Salovey, P. (1993). Measurement error masks bipolarity in affect ratings. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64, 1029-1041.

- Green, D.P., Salovey, P., & Truax, K.M. (1999). Static, dynamic, and causative bipolarity of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76, 856-867.
- Green, D.W., Over, D.E., & Pyne, R.A. (1997). Probability and choice in the selection task. *Thinking and Reasoning*, 3, 3, 209-235.
- Grosjean, V., Raufaste, E., Giboin, A. (2003). Émotions, cognitions et performance : investigations en psychologie ergonomique. *Le Travail Humain*, 66, 3, 193-196.
- Haddock, G. (2002). It's easy to like or dislike Tony Blair: Accessibility experiences and the favourability of attitude judgments. *British Journal of Psychology*, 93, 257-267.
- Hall, E.G., & Davies, S. (1991). Gender differences in perceived intensity and affect of pain between athletes and nonathletes. *Perceptual and Motor Skills*, 73, 779-786.
- Hancock, G.R., & Mueller, R.O. (2001). Rethinking construct reliability within latent variable systems. In R. Cudeck, S. Du Toit, D. Sörbom (Eds.), *Structural Equation Modeling: Present And Future. A Festschrift in honor of Karl Jöreskog*. Lincolnwood, IL: SSI.
- Hart, S.G. & Staveland, L.E. (1988). Development of Nasa-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P.A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (p. 139-185). Amsterdam, The Netherlands: North Holland Press.
- Hasher, L., & Zacks, R.T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 108, 356-388.
- Hasher, L., & Zacks, R.T. (1984). Automatic processing of fundamental information : The case for frequency of occurrence. *American Psychologist*, 39, 1372-1388.
- Haverty, L. A., Koedinger, K. R., Klahr, D., & Alibali, M. W. (2000). Solving induction problems in mathematics: Not-so-trivial pursuit. *Cognitive Science*, 24, (2), 249-298.
- Hoc, J-M. (1996). *Supervision et contrôle de processus. La cognition en situation dynamique*. Grenoble : PUG.
- Hoc, J-M., Amalberti, R., & Boreham, N. (1995). Human operator expertise in diagnosis, decision-making, and time management. In J-M. Hoc, P.C. Cacciabue, & E. Hollnagel (Eds.), *Expertise and technology : Cognition and human-computer cooperation*. LEA.
- Hodgkins M, Albert D, & Daltroy L. (1985). Comparing patients' and their physicians' assessment of pain, *Pain*, 23, 273-277.
- Hoffman, P. Slovic, R., & Rorel, L. (1968). An analysis of variance model for the assessment of configural cue utilization in clinical judgment. *Psychological Bulletin*, 69, 338-349.

- Hoffmann, D.E., & Tarzian, A.J. (2001). The girl who cried pain: a bias against women in the treatment of pain. *Journal of Law and Medical Ethics*, 29, 13-27.
- Hogarth, R.M. (2001). *Educating Intuition*. Chicago, IL: Chicago University Press.
- Hollnagel, E. (1993). The phenotype of erroneous actions. *Journal of Man-Machine Studies*, 39, 1-32.
- Holyoak, K.J. (1991). Symbolic connectionism: Toward third-generation theories of expertise. In K.A. Ericsson & J. Smith (Eds.), *Toward a general theory of expertise* (pp. 301-335). Cambridge University Press.
- Ito, T.A., & Cacioppo, J.T. (1999). The psychophysiology of utility appraisals. In D. Kahneman, E. Diener, & N. Schwarz (Eds.), *Well-Being: The foundations of hedonic psychology* (pp. 470-488). New York, NJ: Russel-Sage Foundation.
- Jensen, K., Andersen, H.O., Olesen, J., & Lindblom, U. (1986). Pressure-pain threshold in human temporal region: Evaluation of a new pressure Algometer. *Pain*, 25, 313-323.
- Jensen, R., Rasmussen, B.K., Pedersen, B., Lous, I., & Olesen, J. (1992). Cephalic muscle tenderness and pressure pain threshold in a general population. *Pain*, 48, 197-203.
- Johnson, T.R. (1997). Control in ACT-R and SOAR. In M. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 343-348). Hillsdale, NJ: LEA.
- Jones, A., & Zachariae, R. (2002). Gender, anxiety, and experimental pain sensitivity: an overview. *Journal of the American Medical Women's Association*, 2, 57:91-94.
- Jöreskog, K. G. (1971). Statistical analysis of sets of congeneric tests. *Psychometrika*, 36, 109-133.
- Just, M.A., & Carpenter, P.A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-54.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1982a). On the psychology of prediction. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 48-68). New York: Cambridge University Press.
- Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (1982). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. New York: Cambridge University Press.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, 2, 263-291.
- Kelly, A.M. (1998). Does the clinically significant difference in visual analog scale pain scores vary with gender, age, or cause of pain. *Academic Emergency Medicine*, 5, 1086-1090.



- Kinder, D.R. (1994). Reason and emotion in American political life. In R.C. Schank, and E. Langer (Eds.), *Beliefs, Reasoning, and Decision Making: Psycho-logic in honor of Bob Abelson* (pp. 277-314). Hillsdale, NJ: LEA.
- Kinder, D.R., Peters M.D., Abelson, R.P., & Fiske, S.T. (1980). *Presidential Prototypes. Political Behavior*, 2, 317-37.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension : A construction-integration model. *Psychological Review*, 95, 163-182.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: a paradigm for cognition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kintsch, W. (2003). Une théorie calculatoire de la compréhension des métaphores. In C. Tijus (Ed.), *Métaphores et analogies* (pp. 339-360). Paris: Hermès.
- Kirby, K.N. (1994). Probabilities and utilities of fictional outcomes in Wason's four card selection task. *Cognition*, 51, 1-28.
- Kitayama, S., & Howard, S. (1994). Affective regulation of perception and comprehension: Amplification and semantic priming. In P.M. Niedenthal & S. Kitayama (Eds.), *The heart's Eye: Emotional influences in perception and attention* (pp. 41-65). San Diego, CA: Academic Press.
- Kraus, S., Lehmann, D., & Magidor, M. (1990). Nonmonotonic reasoning, preferential models and cumulative logics. *Artificial Intelligence*, 44, 16-207.
- Kyburg, H.E. (1983). Rational belief. *Behavioral and Brain Sciences*, 6, 231-273.
- Lai, J. C. L., & Yue, X. (2000). Measuring optimism in Hong Kong and mainland Chinese with the revised Life Orientation Test. *Personality and Individual Differences*, 28, 781-796.
- Lai, J. C. L., Cheung, H., Lee, W., & Yu, H. (1998). The utility of the revised Life Orientation Test to measure optimism among Hong Kong Chinese. *International Journal of Psychology*, 33, 45-56.
- Landauer, T.K., & Dumais, S.T. (1997). A solution to Plato's problem: The latent Semantic analysis theory of acquisition, induction, and representation of knowledge. *Psychological Review*, 104, 2, 211-240.
- Lang, P.J., Bradley, M.M., & Cuthbert, B.N. (1997). *International Affective Picture System (IAPS): Technical manual and Affective Ratings*. Gainesville, FL. NIMH Center for the Study of Emotion and Attention.
- Laswell, H.D. (1930). *Psychopathology and politics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lê, S., Raufaste, E., & Démonet, J-F. (2003). Processing of normal, inverted, and scrambled faces in a patient with prosopagnosia: behavioural and eye tracking data. *Cognitive Brain Research*, 17, 1, 26-35.

- Lê, S., Raufaste, E., Roussel, S., Puël, L., & Démonet, J-F.(2003). Implicit face perception in a patient with visual agnosia? Evidence from behavioural and eye tracking analyses. *Neuropsychologia*, 41, 6, 702-712.
- Lebiere, C. (2001). A theory-based model of cognitive workload and its applications. In *Proceedings of the 2001 Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC)*. Arlington, VA: NDIA.
- Lemieux, M., & Bordage, G. (1986). Structuralisme et pédagogie médicale: étude comparative des stratégies cognitives d'apprentis-médecins. *Recherches sémiotiques. Semiotic Inquiry*, 6, 2, 143-179.
- Lemieux, M., & Bordage, G. (1992). Propositional versus structural semantic analyses of medical diagnostic thinking. *Cognitive Science*, 16, 185-212.
- Leplat, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Paris: Colin.
- Lerner, J.S., & Keltner, D. (2000). Beyond valence: Toward a model of emotion-specific influences on judgment and choice. *Cognition and Emotion*, 14, 4, 473-493.
- Lerner, J.S., Gonzalez, R.M., Small, D.A., & Fischhoff, B. (2003). Effects of fear and anger on perceived risks of terrorism. *Psychological Science*, 14, 2, 144-150.
- Lesgold, A.M., Feltovich, P.J., Glaser, R., & Wang, Y. (1981). *The acquisition of perceptual diagnostic skill in radiology* (Tech. Rep. No. PDS-1). University of Pittsburgh, Learning Research and Development Center.
- Lesgold, A.M., Robinson, H., Feltovich, P., Glaser, R., Klopfer, D., & Wang, Y. (1988). Expertise in a complex skill: Diagnosing X-Ray Pictures. in M.T.H. Chi, R. Glaser, & M.J Farr (Eds.), *The Nature of Expertise* (pp. 311-341). Hillsdale, NJ: LEA.
- Lichtenstein, S., Fischhof, B., & Phillips, L.D. (1982). Calibration of probabilities: The state of the art to 1980. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 306-34). New York: Cambridge University Press.
- Light, R.J. (1971). Measures of response agreement for qualitative data: Some generalizations and alternatives. *Psychological bulletin*, 76, 5, 365-377.
- Logan, G.D. (1988). Toward an instance Theory of automatization. *Psychological Review*, 95, 4, 492-527.
- Logan, G.D. (1992). Attention and preattention in theories of Automaticity. *American journal of psychology*, 105, 2, 317-339.
- Logan, G.D., & Etherton, J.L. (1994). What is learned during automatization? The role of attention in constructing an instance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 5, 1022-1050.

- Longin, D., & Raufaste, E. (2003). Actes de langage indirects : co-construction d'un modèle logico-psychologique. in A. Herzig, B. Chaib-Draa, P. Mathieu (Eds.), *Actes des Secondes journées francophones Modèles formels de l'Interaction*, (pp. 647-658), MFI'03, Lille, 20-22 mai 2003). Toulouse, Cépaduès-Éditions.
- Makinson, D. (1989). General theory of cumulative inference. In M. Reinfrank, J. De Kleer, M.L. Ginsberg, & E. Sandewall (Eds.), *Non-monotonic reasoning, Lecture notes on Artificial Intelligence* (Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Workshop, Grassau, June 1988, LNAI), (Vol. 346, pp. 1-18). Berlin : Springer Verlag.
- Marcus, G.E., Russel Neuman, W., & MacKuen, M. (2000). *Affective intelligence and political judgment*. Chicago: IL, University of Chicago Press.
- Marquié, L., Raufaste, E., Lauque, D., Mariné, C., Ecoiffier, M., & Sorum, P.C. (2003). Pain ratings by patients and physicians: Evidence of systematic pain miscalibration. *Pain*, 102/103, 289-296.
- Marquié, L., Raufaste, E., Mariné, C., Ecoiffier, M. (2003). L'erreur de diagnostic en médecine d'urgence : application de l'analyse rationnelle des situations de travail. *Le Travail Humain*, 66, 4, 347-376 (à paraître).
- Marshall, G. N., & Lang, E. L. (1990). Optimism, self-mastery, and symptoms of depression in women professionals. *Journal of Personality and Social Psychology*, 59, 132-139.
- Marshall, G. N., Wortman, C. B., Kusulas, J. W., Herving, L. K., & Vickers, R. R. (1992). Distinguishing optimism from pessimism: Relations to fundamental dimensions of mood and personality. *Journal of Personality and Social Psychology*, 62, 1067-1074.
- Mazzoni, G., & Nelson, T.O. (1998). *Metacognition and cognitive neuropsychology: Monitoring and control processes*. Mahwah, NJ: LEA.
- McDaniels, T.L., Axelrod, L.J., Cavanagh, N.S., & Slovic, P. (1997). Perception of ecological risk to water environments. *Risks Analysis*, 17, 3, 341-352.
- McDonald, R. P. (1981). The dimensionality of tests and items. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 34, 110-117.
- McDonald, R. P. (1999). *Test theory: A unified treatment*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Medin, D., & Edelson, S. (1988). Problem structure and the use of a base-rate information from experience. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 1, 68-85.
- Miyamoto, J.M., Gonzales, R., & Tu, S. (1995). Compositional anomalies in the semantics of evidence. In J.B. Busemeyer, D.L. Medin, & R. Hastie (Eds.), *Decision making from a cognitive perspective. The psychology of Learning and Motivation, Volume 32* (pp. 319-383). London: Academic Press.

- Moon, D. (1990). What you use depends on what you have: Information effects on the determinants of electoral choice. *American Politics Quarterly*, 18, 3-24.
- Mullet, E., Dej, V., Lemaire, I., Raïff, P., Barthorpe, J. (2000). Studying, working, and living in another EU country : French youth's point of view. *European Psychologist*, 5, 3, 216-226.
- Mullet, E., Duquesnoy, C., Raïff, P., Fahrasmane, R., & Namur, E. (1993). The evaluative factor of risk perception. *Journal of Applied Social Psychology*, 23, 1594-1605.
- Navarro, C. (1991) Une analyse cognitive de l'interaction dans les activités de travail. *Le Travail Humain*, 54, 113-128.
- Nerb, J., Spada H., & Lay, K. (2001). Environmental Risk in the media: Modeling the reactions of the audience. *Research in social problems and public policy*, 9, 57-85.
- Norman, D.A. (1981). Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88, 1, 1-15.
- Norman, D.A., & Shallice, T. (1980). *Attention to action: Willed and automatic control of behavior*, CHIP, technical report n°99. [Reprinted in revised form in R.J. Davidson, G.E. Schwartz, & D. Shapiro (Ed.), *Consciousness and self-regulation* (vol. 4, p. 1-18). New-York: Plenum Press, 1986].
- Norman, G.R., Brooks, L.R., Coblenz, C.L., & Babcook, C.J. (1992). The correlation of feature identification and category judgment in diagnostic radiology. *Memory & Cognition*, 20, 4, 344-355.
- Oaksford, M., & Chater, N. (1994). A rational analysis of the selection task as optimal data selection. *Psychological Review*, 101, 608-638.
- Oaksford, M., & Chater, N. (1995). Information gain explains relevance which explains the selection task. *Cognition*, 57, 97-108.
- Ottati, V.C., & Wyer, R.S. Jr. (1993). Affect and political judgment. In S. IYengar, and W.J. McGuire (Eds.). *Explorations in political psychology* (pp. 296-315). Durham: Duke University Press.
- Over, D.E., & Evans, J.St.B.T (1994). Hits and misses : Kirby on the selection task. *Cognition*, 52, 235-243.
- Pariollaud, F., Denhière, G., & Verstiggel, J.C. (2003). Le traitement des expressions idiomatiques : Intérêt d'un corpus et de l'analyse sémantique latente. In C. Tijus (Ed.), *Métaphores et analogies* (pp. 307-338). Paris, Lavoisier - Hermès.
- Patel, V.L., & Groen, G.J. (1991). The general and specific nature of medical expertise: A critical look. In K.A. Ericsson & J. Smith (Eds.), *Toward a general theory of expertise* (pp. 93-125). Cambridge University Press.

- Patel, V.L., Groen G.J., & Arocha, J.F. (1990). Medical expertise as a function of task difficulty. *Memory & cognition*, 18, 4, 394-406.
- Pickering, G., Jourdan, D., Eschali r, A., & Dubray, C. (2002). Impact of age, gender and cognitive functioning on pain perception. *Gerontology*, 48, 112-118.
- Prade, H. (1985). A computational approach to approximate and plausible reasoning with applications to expert systems. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 7, 3, 260-283.
- Prade, H., & Testemale, C. (1986). Application of possibility and necessity measures to documentary information retrieval. In B. Bouchon, & R.R. Yager (Eds.), *Uncertainty in knowledge-based systems. International conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*. Paris, Juin / Juillet 1986: Selected and Extended contributions (pp. 265-274). Springer-Verlag.
- Price, D.D., McGrath, P.A., Rafji, A., Buckingham, B. (1983). The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain. *Pain*, 17, 45-46.
- Rabinowitz, M., & Chi, M.T.H. (1987). An interactive model of strategic processing. In S.J. Ceci (Ed.), *Handbook of the cognitive, social, and physiological characteristics of learning disabilities* (Vol. 2, pp. 84-102). NJ: LEA.
- Rabinowitz, M., & McAuley, M. (1990). Conceptual knowledge processing: An oxymoron? In W. Shneider & F.E. Weinert (Eds.), *Interactions among aptitudes, strategies, and knowledge in cognitive performance* (pp.117-133). New-York: Springer-Verlag.
- Rahn, W.M., Aldrich, J.H., & Borgida, E. (1994). Individual and Contextual Variations in Political Candidate Appraisal. *American Political Science Review*, 88, 1, 193-199.
- Rapoport, A., Wallsten, T.S., & Cox, J.A. (1987). Direct and indirect scaling of membership functions of probability phrases. *Mathematical Modelling*, 9, 6, 397-417.
- Raufaste, E. (1999a). *La théorie du support consonant : une approche connexionniste symbolique de l'expertise dans le diagnostic radiologique*. Thèse de doctorat nouveau régime, Toulouse: Université Toulouse le Mirail, 22 janvier.
- Raufaste, E. (1999b). Modeling cognitive flexibility of super experts in radiological diagnosis. in M. Ahn & S.C. Stoness (Eds.), *Proceedings of the Twenty-first Annual Conference of the Cognitive Science Society*, (pp.572-577). Mahwah, NJ: LEA. (COGSCI'99, Vancouver, 29-21 ao t 1999).
- Raufaste, E. (2001). *Les mécanismes cognitifs du diagnostic médical : optimisation et expertise*. Paris, PUF.

- Raufaste, E., & Eyrolle, H. (1998). Expertise et diagnostic radiologique. 1. Avancées théoriques. *Journal de Radiologie*, 79, 227-234.
- Raufaste, E., Da Silva Neves, R., Mariné, C. (2003). Testing the descriptive validity of Possibility Theory in human judgments of uncertainty. *Artificial Intelligence*, 148, 1/2, 197-218.
- Raufaste, E., Eyrolle, H., & Mariné, C. (1998). Pertinence generation in radiological diagnosis: Spreading activation and the nature of expertise. *Cognitive Science*, 22, 517-546.
- Raufaste, E., Verderi-Raufaste, D., & Eyrolle, H. (1998) Expertise et diagnostic radiologique. 2. Etude empirique. *Journal de Radiologie*, 79, 235-240.
- Raykov, T., & Shrout, P. E. (2002). Reliability of scales with general structure: Point and interval estimation using a structural equation modeling approach. *Structural Equation Modeling*, 9, 195-212.
- Reason, J. (1993). *L'erreur Humaine*. Paris, PUF.
- Reich, J.W., Zautra, A.J., & Potter, P.T. (2001). Cognitive structure and the independence of positive and negative affect. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 20, 99-115.
- Remington, N.A., Fabrigar, L.R., & Visser, P.S. (2000). Reexamining the circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79, 2, 286-300.
- Riley III, J.L., Robinson, M.E., Wise, E.A., Myers, C.D., & Fillingim, R.B. (1998). Sex differences in the perception of noxious experimental stimuli: a meta-analysis. *Pain*, 74, 181-187.
- Robinson-Whelen, S., Kim, C., MacCallum, R. C., & Kiecolt-Glaser, K. (1997). Distinguishing optimism from pessimism in older adults: Is it more important to be optimistic or not to be pessimistic? *Journal of Personality and Social Psychology*, 6, 1345-1353.
- Rogalski, J. (1994). Formation aux activités collectives. *Le Travail Humain*, 57, 367-386.
- Rouanet, H. (1996). Bayesian methods for assessing importance of effects. *Psychological Bulletin*, 119, 1, 149-158.
- Salvucci, D. D. (2001). An integrated model of eye movements and visual encoding. *Cognitive Systems Research*, 1(4), 201-220.
- Salvucci, D. D., & Anderson, J. R. (2001). Integrating analogical mapping and general problem solving: The path-mapping theory. *Cognitive Science*, 25, 67-110.
- Samuel, S., Kundel, H.L., Nodine, C.F., & Toto, L.C. (1995). Mechanism of satisfaction of search: Eye position recordings in the reading of chest radiographs. *Radiology*, 194, 3, 895-902.

- Savage, L.J. (1954). *The Foundations of Statistics*. Republished 1972, New-York : Dover.
- Scharz, N., & Clore, G.L. (1983). Mood, misattribution, and judgments of well-being: Informative and directive functions of affective states. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45, 3, 513-523.
- Scheier, I. H., & Carver, C. S. (1985). Optimism, coping and health: Assessment and implications of generalized outcome expectancies on health. *Health Psychology*, 4, 219-247.
- Scheier, I. H., & Carver, C. S. (1992). Effects of optimism on psychological and physical well-being: Theoretical overview and empirical update. *Cognitive Therapy and Research*, 16, 201-228.
- Scheier, I. H., Carver, C. S., & Bridges, M. W. (1994). Distinguishing optimism from neuroticism (and trait anxiety, self-mastery, and self-esteem): A re-evaluation of the Life Orientation Test. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67, 1063-1078.
- Schultz, C., & Pancer, S.M. (1997). Character attacks and their effects on perceptions of male and female political candidates. *Political Psychology*, 18, 1, 93-102.
- Schwarz, N., & Clore, G.L. (1996). Feelings and phenomenal experiences. In E.T. Higgins, & A.W. Kruglanski (Eds.), *Social Psychology: handbook of basic principles* (pp. 433-465). New York: The Guilford Press.
- Sébillotte, S. (1984). La résolution de problème en situation de diagnostic. Un exemple : le diagnostic médical. *Psychologie Française*, 29, 3/4, 273-277.
- Selfridge, O.G. (1959), Pandemonium: A paradigm for learning. In *Symposium on the Mechanization of Thought Processes* (pp. 513-526), Nov 1958, London, HMSO.
- Shafer, G. (1976). *A mathematical theory of evidence*. Princeton: Princeton University Press.
- Shafir, E., Simonson, I., & Tversky, A. (1993). Reason-based choice. *Cognition*, 49, 11-36.
- Shizgal, P. (1999). On the neural computation of utility: Implications from studies of brain stimulation reward. In D. Kahneman, E. Diener, & N. Schwarz (Eds.), *Well-Being: The foundations of hedonic psychology* (pp. 501-524). New York, NJ: Russel-Sage Foundation.
- Sloman, S.A. (1996). The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological Bulletin*, 119, 1, 3-22.
- Slovic, P. (1997). Trust, emotion, sex, politics, and science: Surveying the risk-assessment battlefield. In M.H. Bazerman, D.M. Messick, A.E. Tenbrunsel, and K.A. Wade-Benzoni (Eds.), *Environment, ethics, and behavior* (pp. 277-313). San Francisco: New Lexington Press.

- Slovic, P., Finucane, M.L., Peters, E., & MacGregor, D.G. (2002). The affect heuristic. In T. Gilovich, D. Griffin, & D. Kahneman (Eds.), *Heuristics and biases: The psychology of intuitive judgment* (pp.397-420). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Slovic, P., Kraus, N., Lappe, H., & Major, M. (1991). Risk perception of prescription drugs: Report on a survey in Canada. *Canadian Journal of Public Health*, 82, S15-S20.
- Smith, C.A., & Ellsworth, P.C. (1985). Patterns of Cognitive Appraisal in Emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 48, 4, 813-838.
- Sohn, M.-H., Ursu, S., Anderson, J. R., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). The role of prefrontal cortex and posterior parietal cortex in task-switching. In *Proceedings of National Academy of Science*, 97 (24), 13448-13453.
- Sorum, P. C., Stewart, T. R., Mullet, E., Gonzales Vallejo, C., Shim, J., Chasseigne, G., Muñoz Sastre, M. T., Grenier, B. (2002). Does choosing a treatment depend on making a diagnosis ? U.S. and French physicians's decision making about acute otitis media. *Medical Decision Making*, 22, 394-402.
- Sperber, D., & Wilson, D. (1986). *Relevance, Communication and Cognition*. [Traduction Française: Abel Gerschenfeld et Dan Sperber. *La pertinence*. Paris: Editions de Minuit, 1989.]
- Sperber, D., & Wilson, D. (1995). *Relevance, Communication and Cognition*. 2<sup>nd</sup> Edition. Oxford, UK: Blackwell.
- Sperber, D., Cara, F. & Girotto, V. (1995). Relevance theory explains the selection task. *Cognition*, 57, 31-95.
- Steed, L. G. (2002). A psychometric comparison of four measures of hope and optimism. *Educational and Psychological Measurement*, 62, 466-482.
- Steiger, J. H. (1999). Structural equation modeling. In *STATISTICA for Windows (Volume III): Statistics II* (2d ed., pp. 3539-3688). Tulsa, OK: StatSoft.
- Sternberg, R.J., & Frensch P.A (1992). On being an expert: A cost-benefit analysis. In R.R. Hoffman (Ed.), *The psychology of expertise - cognitive Research and empirical AI* (pp. 191-203). New York : Springer-Verlag
- Steyer, R., Eid, M., & Schwenkmezger, P. (1997). Modeling true intraindividual change: True change as a latent variable. *Methods of Psychological Research Online*, 2, 21-33.
- Sultan, S., & Bureau, B. (1999). Which optimism in health psychology? *European Review of Applied Psychology*, 49, 43-51.
- Tetlock, P.E. (1993). Cognitive structural analysis of political rhetoric: Methodological and theoretical issues. In S. IYengar, and W.J. McGuire (Eds.). *Explorations in political psychology* (pp. 380-405). Durham: Duke University Press.



- Thagard, P. (1989). Explanatory coherence. *Behavioral and Brain Sciences*, 12, 435-502.
- Thagard, P., & Nerb, J. (2002). Emotional gestalts: Appraisal, change, and emotional coherence. *Personality and Social Psychology Review*, 6, 274-282.
- Thomas, S.H., Borczuk, P., Shackelford, J., Ostrander, J., Silver, D., Evans, M., & Stein, J. (1999). Patient and physician agreement on abdominal pain severity and need for opioid analgesia. *American Journal of Emergency Medicine*, 17, 586-590.
- Todd, K.H., Funk, K.G., Funk, J.P., & Bonacci, R. (1996). Clinical significance of reported changes in pain severity. *Annals of Emergency Medicine*, 27, 485-489.
- Todd, K.H., Lee, T., & Hoffman, .JR. (1994). The effect of ethnicity on physician estimates of pain severity in patients with isolated extremity trauma. *Journal of the Amercian Medical Association*, 271, 925-928.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive Psychology*, 4, 207-232.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1982a). Judgments of and by representativeness. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 84-98). New York: Cambridge University Press.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1982b). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 163-178). New York: Cambridge University Press.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1983). Extensional vs. intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment. *Psychological Review*, 91, 293-315.
- Tversky, A., & Koehler, D.J. (1994). Support theory: A nonextensional representation of subjective probability. *Psychological Review*, 101, 547-567.
- Van Dijk, T.A., & Kintsch, W. (1983). Strategies of discourse comprehension. New-York : Academic Press.
- Vautier, S., & Raufaste, E. (2003). Measuring dynamic bipolarity in positive and negative activation. *Assessment*, 10, 1, 49-55.
- Vautier, S., Raufaste, E., & Cariou, M. (In Press). Dimensionality of the Revised Life Orientation Test and the Status of Filler Items: A Comment on Lai et al. (1998). *International Journal of Psychology*.
- Wallsten, T.S., Budescu, D.V., & Erev, I. (1988). Understanding and using linguistic uncertainties. *Acta Psychologica*, 68, 39-52.

- Wallsten, T.S., Budescu, D.V., & Zwick, R. (1993). Comparing the calibration and coherence of numerical and verbal probability judgements. *Management Science*, 39, 2, 176-190.
- Watson, D., Clark, L.A., & Tellegen, A. (1988). Development and Validation of Brief Measures of Positive and Negative affect: The PANAS Scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54, 6, 1063-1070.
- Weber, E.U., Böckenholt, U., Hilton, D.J., & Wallace, B. (1993). Determinants of diagnostic hypothesis generation : Effects of information, base rates and experience. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 19, 5, 1151-1164.
- Weisse, C.S., Sorum, P.C., Sanders, K.N., Syat, B.L. (2001). Do gender and race affect decisions about pain management? *Journal of general internal medicine*, 16, 211-217.
- Woods, D.D. (1988). Coping with complexity : the psychology of human behavior in complex systems. In L.P. Goodstein, H.B. Andersen, S.E. Olsen (Eds.), *Tasks, Errors and Mental models* (pp. 128-148). London, Taylor & Francis.
- Wyer, R.S. (1976). An investigation of the relations among probability estimates. *Organizational Behavior and Human Performance*, 15, 1-18.
- Zadeh, L.A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 3-28.
- Zautra, A. J., Berkhof, J., & Nicolson, N. A. (2002). Changes in affect interrelations as a function of stressful events. *Cognition and Emotion*, 16, 309-318.
- Zeitz, C. (1994). Expert-novice differences in Memory, abstraction and reasoning in the domain of literature. *Cognition and instruction*, 12, 4, 277-312.
- Zimmer, A.C. (1983). Verbal vs. numerical processing of subjective probabilities. In R.W. Scholz (Ed.), *Decision making under uncertainty* (pp. 159-182). Elsevier.
- Zimmer, A.C. (1986). What uncertainty judgments can tell about the underlying subjective probabilities. In L.N. Kanal, & J.F. Lemmer (Eds.), *Uncertainty in artificial intelligence* (pp. 249-258). Elsevier.
- Zimmermann, K.F. (1995). European migration: Push and Pull. In *Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics* , 1994 (pp. 313-342).